

# Copyright ©

---

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Das Werk bzw. der Inhalt darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtsinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

Copyright and Moral Rights for this thesis are retained by the author and/or other copyright owners. The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

03. April 1996

z 945-1

66b

**BERICHTE**  
aus dem  
**SONDERFORSCHUNGSBEREICH 313**  
**VERÄNDERUNGEN DER UMWELT - DER NÖRDLICHE NORDATLANTIK**



Nr. 61

Wassermassenaustausch zwischen  
NE-Atlantik und Nordmeer  
während der letzten 300.000/80.000 Jahre  
im Abbild stabiler O- und C-Isotope

SIMON J. A. JUNG

Nr. 61



**Wassermassenaustausch zwischen NE-Atlantik und Nordmeer  
während der letzten 300 000/80 000 Jahre  
im Abbild stabiler O- und C-Isotope**

**Simon J. A. Jung**

**Für meinen Vater**

Zusammenfassung.....	
1. Rezente Hydrographie und Stand der Forschung.....	1
Fragestellung dieser Arbeit .....	3
2. Strategie der Arbeit .....	5
2.1. Stabile Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope als Näherungswerte für die Physik und Chemie von Paläo-Wassermassen .....	5
2.2. Stabile Isotopenwerte in synoptischen Zeitscheiben.....	7
3. Methoden .....	8
3.1. Probennahme .....	8
3.2. Probenaufbereitung .....	8
3.3. Isotopenanalyse .....	8
4. Methoden und Ergebnisse der absoluten Altersbestimmung .....	12
4.1. Auswahl und Alter der AMS-14C Proben .....	12
4.2. Konvertierung der AMS 14C-Alter: Chronostratigraphie in Kalenderjahren.....	13
4.3. Altersfixpunkte in den Sedimentkernprofilen .....	14
4.4. Sedimentationsraten und zeitliche Auflösung der Isotopenkurven.....	33
5. $\delta^{18}\text{O}$ -/ $\delta^{13}\text{C}$ -Zeitreihen der letzten 250.000 Jahre .....	35
5.1. Termination I und Holozän .....	35
5.2. Sauerstoffisotopenstadium 2 .....	44
5.3. Sauerstoffisotopenstadium 3 .....	45
5.4. Sauerstoffisotopenstadium 4 .....	55
5.5. Sauerstoffisotopenstadium 5-10.....	55
5.6. $\delta^{13}\text{C}$ -Kurven von <i>C. wuellerstorfi</i> .....	58
5.7. Diskussion: 80 000 Jahre Tiefenwasserzirkulation in einem $\delta^{18}\text{O}$ -/ $\delta^{13}\text{C}$ -Vertikalprofil am Rockall-Plateau .....	58
6. Zeitscheiben.....	68
6.1. Konstruktion von synoptischen Isolinienkarten: Methodisches.....	68
6.2. Holozän-Zeitscheiben 0-4, 7-8 und 9.25-9.8 ka.....	73
6.4. Zeitscheibe Jüngere Dryas .....	74
6.3. Glazial: Zeitscheiben: 18,3-19,3 ka (LGM) und 21,5-23,5 ka .....	75
6.5. Zeitscheibe 16,9-17,1 ka .....	77
6.6. Zeitscheibe 28,3-29,5 ka .....	77
7. Diskussion .....	78
7.1. Zu den Grenzen der Aussagekraft stabiler Isotopenwerte in hochauflösenden Zeitserien .....	78
7.2. Rezente Tiefenwasserzirkulation und ihr Abbild in stabilen Isotopen .....	81
Generelles .....	81
7.3. Holozäne Klimavariabilität .....	85

7.4. Tiefenwasserzirkulation in der Jüngerer Dryas .....	88
7.5. Tiefenwasserzirkulation im Gefolge von Termination Ia (16,9-17,1 ka; im Anschluß an Heinrich Ereignis 1) .....	89
7.6. Eiszeitliche Tiefenwasserzirkulation in den Zeitscheiben 21,5-23,5 ka und 18,3-19,3 ka .....	90
7.7. Tiefenwasserzirkulation im frühesten Stadium 2 .....	92
8. Schlußfolgerungen .....	95
9. Dank .....	97
10. Literatur .....	98
Datenanhang	



## Zusammenfassung

Anhand hochauflösender stabiler Isotopenkurven wurde die räumliche und zeitliche Variabilität des Salzförderbandes im Nordatlantik rekonstruiert. Zu einem Teil auch AMS14C-datierte  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven und Heinrich-Eisschuttlagen dienten zur zeitlichen Einstufung der Sedimente. Die Dauer einer Umkehr der Bodenströmung bei Heinrich Ereignis 3 konnte zum ersten Mal mit AMS14C-Messungen auf 800 Jahre eingegrenzt werden.

Über die letzten 80 000 Jahre wurden Zeitserien mit mittleren Zeitschritten von 500 Jahren erstellt. Sie zeigen, daß in Stadium 2 und 4 sowie im späteren Stadium 3 der vertikale  $\delta^{13}\text{C}$ -Gradient zwischen 1500 und 1300 m deutlich versteilt war, die Zwischenwassermassen sehr stark, die Tiefenwassermassen hingegen extrem schlecht ventiliert waren. Gleichzeitig könnte die Temperatur unterhalb von ca. 2000 m wesentlich niedriger als heute, bei ca. 0-0,5 ° C gelegen haben.

Überprägt wurde diese langfristige Veränderung des tiefen Atlantiks von Schwächephasen des Salzförderbandes im Zusammenhang mit den vielen Heinrich- und Dansgaard-Oeschger Ereignissen, besonders stark bei den katastrophalen Heinrich-Eisbergausbrüchen. Anschließend folgten wiederholt extreme Dichtespitzen des Tiefenwassers als Resultat eines intensiven Durchspülens des Atlantiks, das bis in 4 km Wassertiefe nachweisbar ist.

Im Frühholozän wurde der N-Atlantik durch vergleichsweise viel wärmeres Nordatlantisches Tiefenwasser als heute ventiliert. Seit ca. 4000 Jahren schwächte sich das Salzförderband und damit die Wärmepumpe von Europa auf das heutige Niveau leicht ab.

Für die letzten 30 000 Jahre ließ sich die räumliche Veränderlichkeit anhand von NW-SE-Transekten für insgesamt acht Zeitscheiben rekonstruieren. Im Letzten Glazialen Maximum wurde gut ventiliertes Oberes Nordatlantisches Tiefenwasser südwestlich von Island gebildet, zugleich mit einem Zufluß von gut ventiliertem MOW in gleicher Wassertiefe (**glazialer Strömungsmodus**). Im frühesten Stadium 2 im Anschluß an Heinrich-Ereignis 3 war die NADW-Bildung relativ stark, vermutlich in der NGS oder im NE-Atlantik. Bei Eiszeit-Termination Ia war das Salzförderband drastisch abgeschwächt, allerdings blieb eine flache Tiefenkonvektion bis ca. 1500 m im Nordatlantik erhalten, bei anhaltendem, aber abgeschwächtem MOW-Zufluß (**Schmelzwasser Modus**). In der Jüngeren Dryas und im Holozän variierte das Salzförderband relativ wenig, ausgenommen eine Phase vor 7-8 ka im Früh-Mittelholozän, wo die Bildung von Unterem NADW in der NGS vorübergehend zurückging. Auch in der Jüngeren Dryas herrschte vermutlich eine ähnliche, wahrscheinlich noch stärkere Reduktion der Tiefwasserbildung im Nordmeer (**Holozäner Strömungsmodus**).

## 1. Rezente Hydrographie und Stand der Forschung

Für Änderungen des globalen, speziell des europäischen Klimas sind Wechsel im Nordatlantischen Oberflächen- und Tiefenwasserstromsystem die treibende Kraft. Hierbei fungiert heute der nordatlantische Zweig des ozeanischen Salzförderbandes (Broecker *et al.*, 1990; Stommel, 1961) rezent als "Lunge" des Weltozeans (Reid & Lynn, 1971). In ihm werden warme und noch wichtiger, relativ hoch saline Oberflächenwassermassen über Golfstrom, Nordatlantikdrift und Norwegenstrom in die Norwegisch-Grönländische See (NGS) transportiert. Hier kühlt das Oberflächenwasser unter massiver Wärmeabgabe vom Ozean an die Atmosphäre soweit ab, daß es in der NGS lokal Dichten erreicht, die eine Tiefenkonvektion ermöglichen (Hopkins, 1991; Worthington, 1970). Zuvor wird das absinkende Wasser bei fehlendem Auftrieb und niedriger Planktonproduktivität noch durch den Kontakt mit der Atmosphäre an Sauerstoff angereichert. Die hieraus resultierenden Zwischenwassermassen der NGS bilden nach Überqueren des Grönland-Schottland-Rückens den Hauptteil des Nordatlantischen Tiefenwassers (NADW) und durchlüften die tiefen Becken des Weltozeans bis hin in den Ostpazifik (Hopkins, 1991; Pickard & Emery, 1988).

Im N-Atlantik wird das NADW in 1500 bis 800m Wassertiefe durch Südatlantisches Zwischenwasser (SAIW) überlagert. Außerdem dringt von Gibraltar her etwa in gleicher Tiefe das Mittelmeeraustromwasser (MOW) vor (Reid & Lynn, 1979). Unterlagert wird das NADW (in Bodennähe) im östlichen und nordöstlichen Nordatlantik durch einen Abzweiger des Antarktischen Bodenwassers (AABW), der bis zum Rockall-Plateau vordringt (Lonsdale & Hollister, 1979; Manighetti & McCave, 1995b; McCartney, 1991; McCave *et al.*, 1980; Schlitzer, 1986). Somit stoßen auf engem Raum sämtliche wichtigen Tiefen- und Zwischenwassermassen an die Plateau-Böschung. Daher sollte gerade hier die Geschichte der Tiefenwasserzirkulation, speziell des NADW, in den Sedimenten archiviert und klar zu entschlüsseln sein. Nach Meincke (1990) reichte, um die Tiefenkonvektion, d.h. die NADW-Produktion durch eine stratifizierte Wasseroberfläche zu unterbinden, in den Tiefenwasserbildungsgebieten bereits eine Salinitätsreduktion von 0,2 ‰ aus, z.B. durch stark erhöhten Niederschlag oder lateralen Süßwassereintrag. Das Klima der Nordatlantik-Anrainer, besonders das milde europäische, hängt direkt von der Stärke der NADW-Pumpe ab. Daher ist das Forschungsinteresse, die Geschichte dieses Teiles des Salzförderbandes zu entschlüsseln, groß, nicht zuletzt auch um die Wissensbasis zu vergrößern, die für eine Vorausschau auf künftige - durch den Menschen aktiv beeinflusste - Klimate erforderlich ist.

Bereits zahlreiche Arbeiten beschäftigten sich mit solchen Mechanismen der globalen Klima-Änderung im Quartär, allerdings bei geringer zeitlicher Auflösung. So deutete man die Verteilung der Planktonforaminiferenarten in Sedimentkernen aus der NGS dahingehend, daß dieses Meer in den O-Isotopenstadien 4-2 ganzjährig eisbedeckt gewesen sei und die Wärmeabgabe und NADW-Produktion hier somit unterbunden waren (Kellogg *et al.*, 1980; Kellogg, 1976; Kellogg *et al.*, 1978). In dieser Zeit sei nach Duplessy *et al.* (1975) warmes Zwischenwasser aus dem Nordatlantik in die tiefen Becken der NGS geströmt. Diese Autoren verglichen hierfür benthische Sauerstoffisotopenkurven aus der NGS und dem Pazifik und folgten in ihrer Interpretation den Ideen von Weyl (1968) und Newell (1974). Labeyrie *et al.* (1987) verglichen die benthischen O-Isotopenkurven aus verschiedenen Ozeanbecken und schlossen daraus, daß in den O-Isotopenstadien 4-2 die Tiefenwassertemperatur mit 0- -1°C um



ca. 2°C niedriger war als heute. Im N-Atlantik soll das Tiefenwasser im Stadium 2 phasenweise sogar -1,5°C kalt gewesen sein, im Vergleich zu 2,5°C heute. Zahn & Mix (1991) wiesen hingegen darauf hin, daß die Temperaturen für das Tiefenwasser nur bedingt aus den Isotopen abgeleitet werden können: Die unterschiedlichen benthischen O-Isotopenwerte in einem N-S-Schnitt könnten auch als Ergebnis einer unterschiedlichen Abfolge von NADW und AABW gedeutet werden, weil die Wassermassen jeweils stark verschiedene  $\delta^{18}\text{O}$ -Basisseigenschaften hätten.

Stabile C-Isotopenwerte zeigen im Gegensatz zu den O-Isotopen das chemische Alter einer Wassermasse an. So nutzten Duplessy *et al.* (1988a)  $\delta^{13}\text{C}$ -Kurven von planktischen und benthischen Foraminiferen aus verschiedenen Ozeanbecken, um die Ventilation des Tiefenwassers für die letzten 70.000 Jahre zu rekonstruieren. Nach ihrem Modell würden sich die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von planktischen und benthischen Foraminiferen aus *einer* Sedimentprobe nur dort decken wo Tiefenwasser unmittelbar gebildet wird und gut ventiliert absinkt. In der Vergangenheit sollten somit Zeiträume in denen die Quelle für Tiefenwasser in die Nähe einer Kernstation verlagert war in sehr ähnlichen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von planktischen und benthischen Foraminiferen dokumentiert sein. Anhand dieser Kriterien schlossen Duplessy *et al.* (1988a), daß die Tiefenwasserproduktion in den O-Isotopenstadien 4-2 aus der NGS eventuell in den N-Atlantik heraus verlagert gewesen sei. Sarnthein *et al.* (1994) differenzierten dieses Bild erheblich, indem sie für acht Zeitscheiben die vertikalen  $\delta^{13}\text{C}$ -Muster im Ostatlantik als Abbild seiner Durchlüftungsqualität kartierten. Die Zeitscheiben zeigten drei Haupt-Zirkulationsmodi: I) den holozänen Typ mit aktiver Tiefenwasserformation in der NGS, der außerdem den Übergang von Stadium 3/2, die Bölling-Alleröd Warmphase sowie die jüngere Dryas kennzeichnet, II) den glazialen Modus mit einer Tiefenwasserquelle südlich der Island-Färöer-Schwelle und III) den "Schmelzwassertyp", in dem die nordatlantische Tiefenkonvektion stark reduziert, wahrscheinlich unterbrochen war z.T. im Einklang mit Berger & Vincent (1986a) und Jansen & Veum (1990).

Eine Hauptfrage ist, wie die Aufbau- und Abschmelzgeschichte der großen Eisschilde im Quartär das nordatlantische Oberflächenwasser veränderte. Was die letzte Eiszeit betrifft, so schlossen bereits Ruddiman & McIntyre (1981) und Ruddiman (1977) auf eine zweiphasige postglaziale Abschmelzgeschichte im N-Atlantikraum, im wesentlichen anhand der Häufigkeitsmaxima von *N. pachyderma* (sin.). Während einer ersten Erwärmungsphase (Bölling-Alleröd) verlagerte sich demnach die Polarfront von 45° N annähernd auf die heutige Position. In der Jüngeren Dryas sei sie erneut fast auf ein glaziales Niveau zurück gesprungen, um schlußendlich, im Anschluß an die zweite Abschmelzphase (Termination Ib) die heutigen Breiten vor Grönland zu erreichen. Außerdem fanden Ruddiman & McIntyre (opt. cit.) als erste Foraminiferen- und Coccolithen-freie Kernabschnitte, in denen eine Sedimentation von eistransportiertem Material (IRD) vorherrschte. Heinrich (1988) wies anhand einer Grobkornanalyse von Sedimenten vom Dreizack-Gebiet nach, daß sich diese Ereignisse reiner Eisdriftsedimentation in den letzten 130.000 Jahren vielfach wiederholten. Bond *et al.* (1993), Bond *et al.* (1992) und Broecker *et al.* (1992b) stuften diese Ereignisse zeitlich wesentlich exakter ein. Vor allem verknüpften sie diese mit Anzeichen für Schmelzwasserlinsen im Oberflächenwasser. Die Sedimentation der seither sogenannten Heinrich Lagen (Broecker *et al.*, 1992b) wird somit als Ergebnis von Eisbergflotillen gedeutet, die vom Laurentischen Eisschild, z.T. auch von Grönland katastrophenartig losbrachen und auf ihrem Weg bis hin zum Rockall Plateau und nach Portugal ihre Sedimente als "Leitstoffe" auf dem Ozeanboden ablagerten (Grousset *et al.*, 1993).

In den Grönländischen Eiskernen, dem höchstauflösenden Klimaarchiv an Land, werden in den Sauerstoffisotopenstadien 2 und 3 extrem kurzzeitige und wiederholte Temperatursprünge zwischen Glazial und Holozänniveau beobachtet (Dansgaard & Oeschger, 1989). Diese Sprünge sollten ihre Ursache wohl in einer jeweils geänderten Ozeanographie des Atlantiks haben. In den letzten Jahren richtete sich das Augenmerk zunehmend darauf, diesem z.T. jährlich auflösenden Klimasignal der Eiskerne zeitlich höchstauflösende marine Klimadatenreihen an die Seite zustellen, die eine exakte Kopplung der Signale an Land und aus dem Meer ermöglichen. Damit revolutionierte sich das Bild der Paläoozeanographie. So demonstrierten Sarinthein *et al.* (1992.) und Weinelt *et al.* (1991) in der NGS sowie Bond *et al.* (1992) und Maslin (1993) für den Nordatlantik, daß beide Ozeanbereiche eine ganze Serie von Schmelzwasserpulsen erlebten, die mit den stärksten Dansgaard-Oeschger Ereignissen zeitlich in etwa korrelierten (Bond *et al.*, 1993). Anhand von Eisdriftschutt- und  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *N. pachyderma* (sin.) dokumentierten Bond & Lotti (1995) und Fronval *et al.* (1995), daß diese extrem schnellen Klimafluktuationen sich unmittelbar, mit einer Trennschärfe von wenigen hundert Jahren, von den Eiskernen zu den marinen Sedimentprofilen verfolgen lassen. Für das Zwischen- und Tiefenwasser wurden erst wenige hochauflösende paläoozeanographische Rekonstruktionen veröffentlicht, z.B. über Heinrich Ereignis 1, wo Sarinthein *et al.* (1994) einen detaillierten Ablauf beschreiben, und jüngst über das Tiefenstromsystem rund um das Rockall Plateau (Manighetti & McCave, 1995b).

Numerische Computersimulationen eröffnen die Möglichkeit, physikalischen Gesetzen gehorchende Ozean-Systeme zu modellieren. Außerdem wird mit Sensitivitätstests geprüft, wie weit die Verteilung der Proxydaten und die daraus folgenden Zirkulationsmuster sinnvolle Prozesse abbilden. Dadurch läßt sich abschätzen, wie empfindlich die ozeanische Zirkulation auf Störungen von außen reagiert.

So modellierte MacAyeal (1993a,b) mit Hilfe eines Eisschildmodells eine eisschild-immanente Eigenoszillation. Demnach könnten Eisaufbau- und Kollapsphasen mit einer Frequenz von rund 7000 Jahren die Sedimentation der Heinrich-Lagen möglicherweise verursacht haben. Der punktuelle Eintrag von Eisberg-Schmelzwasser in die Ursprungsgebiete der Tiefenwässer kann wiederum, wie erstmals von Bryan (1986) in einem stark schematisierten Ansatz modelliert, zu einem Zusammenbruch des ozeanischen Salzförderbandes führen. Maier-Reimer & Mikolajevicz (1989) untersuchten als erste mit Hilfe eines Ocean General Circulation Modells (OGCM), wie die Position des Schmelzwassereintrages die Geschwindigkeit eines Zirkulationszusammenbruches beeinflusst. Über den St. Lorenz-Strom eingebrachte Schmelzwässer können demnach im Extremfall innerhalb von 50 Jahren, über den Mississippi abfließende Schmelzwässer dagegen nur nach längeren Zeiträumen das Salzförderband anhalten. Rahmsdorf (1994) zeigte anhand eines gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modells, daß die Tiefenwasserproduktion im Anschluß an eine Schmelzwasserphase nicht eindeutig nur in einem bestimmten Seegebiet anzuspringen braucht. Tiefenwasser kann sich demnach gleichermaßen in der Labrador See wie in der Grönland See unter heutigen Klimabedingungen bilden, eine Frage nach der "Quelle" die auch in dieser Arbeit aufgegriffen wird.

## Fragestellung dieser Arbeit

Aus den skizzierten Zusammenhängen drängen sich folgende Fragen auf, denen in dieser Arbeit nachgegangen wird:

Wie hat sich die vertikale Struktur der Zwischen- und Tiefenwässer zwischen 1100-4000m Wassertiefe im N-Atlantik verändert? Von besonderem Interesse sind extrem kurzfristige Änderungen der Temperatur und Salinität, also der *Meerwasserphysik*, und ihr Zusammenhang mit veränderter Ventilation, also der *Meerwasserchemie*, und die Frage wie diese räumlich und zeitlich verknüpft sind.

Wie sind Schmelzwassereignisse oder Phasen einer Erwärmung der Meeresoberfläche, in den Sedimenten archivierte; wie verteilen sie sich im NE-Atlantik zeitlich und räumlich? Wie spiegeln sich diese Prozesse in der  $\delta^{13}\text{C}$ -Geschichte im Oberflächenwasser wider, einem Abbild von Oberflächenschichtung und Ventilation?

Wie sind Oberflächen- und Tiefenwasser dynamisch gekoppelt? Speziell, wie wirkten sich punktuell in den Nordatlantik und/oder in die NGS eingebrachte Schmelzwässer auf die Zwischen- und Tiefwasserventilation aus? Wo lagen die fossilen Quellen für Tiefen- und Zwischenwässer? Wie häufig war die Tiefenwasserbildung in den letzten 250.000 Jahren analog zum Ventilationsminimum vor 13.6 C14 ka zusammengebrochen? Wie wirkte sich dies auf die Bodenstromstärken aus? Und in wie weit ist die Zwischen- und Tiefenwasserproduktion über das bisher bekannte Maß hinaus variabel, d.h. gibt es noch mehr als die drei bisher bekannten Zirkulationsmodi?

## 2. Strategie der Arbeit

### 2.1. Stabile Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope als Näherungswerte für die Physik und Chemie von Paläo-Wassermassen

In dieser Arbeit werden stabile O- und C-Isotope in Foraminiferen-Gehäusen als Signalträger für die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Meerwassers genutzt. Einerseits werden nämlich die O-Isotope beim Einbau in die Foraminiferen-Gehäuse von der Temperatur und dem  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des umgebenden Wasser gesteuert. Andererseits korrelieren die stabilen C-Isotope mit dem  $\text{PO}_4$ -Gehalt des Meerwassers was allerdings nur beschränkt für das Oberflächenwasser gilt (Broecker & Peng, 1982; Jung, 1991; Kroopnick, 1985; Kroopnick *et al.*, 1972). Das  $\text{PO}_4$  ist mit dem  $\text{O}_2$ -Gehalt, zumindest im tieferen Wasser, über die Oxydation der organischen Substanz, die von der Meeresoberfläche absinkt, verknüpft (Berger & Vincent, 1986b). Daher lassen sich C-Isotopenwerte über die "Redfield-Ratio" als Anzeiger der Nährstoffgehalte *und* der Ventilation nutzen.

Die Auswahl einer geeigneten planktischen Foraminiferenart als Signalträger nahe der Meeresoberfläche ist im nördlichen Nordatlantik schwierig, da die Temperatur hier in der Vergangenheit extrem schwankte (CLIMAP-Project-Members, 1976), und zwar derart, daß in den nordatlantischen Sedimenten polare Plankton-Foraminiferen in den Kaltzeiten und Arten der gemäßigten Zone in den Warmzeiten dominierten. So herrscht die polare Art *N. pachyderma* (sin.) (Bé, 1977; Bé & Tolderlund, 1971; Hemleben *et al.*, ) in den kalten O-Isotopenstadien 4-2 und *G. bulloides* aus der gemäßigten Zone in den Warmstadien 5 und 1 vor (Maslin, 1993; Schulz, 1995).

Bioturbation vermischt homogen die obersten cm der Sedimentsäule (Trauth, 1995). Hierbei werden besonders bei niedrigen Sedimentationsraten einzelne glaziale Individuen von *N. pachyderma* (sin.) ins Holozän und umgekehrt, holozäne Individuen von *G. bulloides* in die eiszeitlichen Sedimentabschnitte verfrachtet. Je nach unterschiedlichen Häufigkeiten einer Art in den einzelnen Klimaabschnitten kann dies im Extremfall dazu führen, daß alle Gehäuse von *N. pachyderma* (sin.) in einem "Holozän-Sediment" aus der letzten Eiszeit herauf gewühlt sind. Dies zeigen dann auch ihre Isotopenwerte. Um die Geschichte des Oberflächenwassers für beide Extremzustände möglichst lückenlos zu rekonstruieren, wurden daher stets beide genannten Foraminiferenarten isotopisch untersucht. Anschließend wurden für die kaltzeitlichen Sedimentsektionen die Werte von *N. pachyderma* (sin.) und für die wärmeren Klimaabschnitte die Isotopenwerte von *G. bulloides* herangezogen, um die Eigenschaften von Oberflächen- und Tiefenwasser zu vergleichen.

Der Lebensraum einer Foraminiferenart beeinflusst die stabilen Isotopenwerte maßgeblich. So wurden lebende Individuen von *N. pachyderma* (sin.) in Planktonnetzfängen aus der Framstraße in Wassertiefen von mehr als 100m und im Nansen-Becken bei weniger als 50m Tiefe gefunden worden. Diese Spannbreite sei einerseits an das Aufsteigen von atlantischem Wasser in der Arktis in Richtung Nordpol geknüpft (Carstens & Wefer, 1992). Zum anderen folgt *N. pachyderma* (sin.) in der Framstraße, als Sonderfall, einer besonders tief abtauchenden Sprungschicht. Im Extremfall kann *N. pachyderma* (sin.) sogar in Meereis eingeschlossen überleben (Dieckmann *et al.*, 1991).

Die bevorzugten Wassertiefen von *N. pachyderma* (sin.), so wie sie sich theoretisch aus  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten ergäben, weichen von den Tiefen der Netzfangergebnisse systematisch ab. In der NGS zeigen die Gehäuse von *N. pachyderma* (sin) aus Oberflächensedimenten in ihren  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten die beste Korrelation mit den theoretischen Isotopenverhältnissen für 10m Tiefe (abgeleitet nach Shackleton (1974)). Sie weichen davon im Mittel um 0,45 ‰ ab (Johannessen *et al.*, in prep.). Eichdatensätze für Isotopenwerte von *N. pachyderma* (sin.), die auch den N-Atlantik einschließen, deuten hingegen auf ein bevorzugtes Habitat bei 50m Wassertiefe. Im Temperaturbereich von 3–10°C der für *N. pachyderma* (sin.) optimal ist, weichen nach Duplessy *et al.* (1991) die Absolutwerte konstant um 0,58 ‰ vom erwarteten Isotopenwert ab.

Ein Hauptproblem derartiger Studien ist die Auswahl geeigneter Referenzdaten für rezente Wassereigenschaften und Karbonat-Isotopen-Werte. Als optimal erweist sich zur Zeit ein Levitus-Datensatz, in den der synoptische Datensatz von Dietrich (1969) eingearbeitet wurde und damit an den kritischen ozeanischen Frontsystemen den "wirklichen" ozeanographischen Verhältnissen erheblich näher gebracht wurde und den kalten Temperaturbereich besonders gut auflöst (Seidov *et al.*, eingereicht). Werden aus diesem Datensatz theoretische  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte für 50 m Wassertiefe abgeleitet, so weichen davon die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *N. pachyderma* (sin.) um -0,16 ‰ ab (Weinelt *et al.*, 1996). Die *N. pachyderma* (sin.)-Gehäuse integrieren im allgemeinen die Lebensumstände von mehreren 100 Jahren und somit auch deren Isotopenwerte. Eine durchschnittliche  $\delta^{18}\text{O}$ -Abweichung von 50m Wassertiefe um -0,16–0,5 ‰ und von der Wasseroberfläche um 0,6 ‰ entsprechend theoretisch -0,7° oder 2,5°C, kann daher bei den im Nordmeer vorherrschenden vertikalen Temperaturgradienten tatsächlich einem Lebensraum von *N. pachyderma* (sin.) entsprechen, der die obersten 50m Wassersäule in etwa mittelt.

Die stabilen Kohlenstoffisotopenwerte von *N. pachyderma* (sin.) zeichnen die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des Meerwassers ( $\Sigma\text{CO}_2$ ) mit einer konstanten Abweichung (?Vital-effekt) von -0,82 ‰ auf (Labeyrie & Duplessy, 1985). Nach dieser Korrektur können sie also als relativ verlässlicher Näherungswert für die Belüftungsqualität der Meeresoberfläche dienen.

Das Isotopensignal von *G. bulloides* (Ottens, 1991; Ottens, 1992a) ist schwerer debar. Nach Netzfängen leben Individuen dieser Art in den obersten 300 m Wassersäule (Fairbanks & al., 1982; Oberhänsli *et al.*, 1992; Ottens, 1992b). In  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von Gehäusen aus der Sedimentoberfläche sind die Temperatur (>8°C) und Salinität nahe der Meeresoberfläche, bei ca. 50m Tiefe, recht vertrauenswürdig abgebildet. Sie weichen je nach Eichbasis (s.o.) um ca. 0,23 respektive 0,28 ‰ vom theoretischen Wert der Wasseroberfläche (0m) ab (Duplessy *et al.*, 1991; Johannessen *et al.*, in prep.). Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von *G. bulloides* können gegenwärtig praktisch nicht eindeutig einem gewissen Wasserstockwerk zugeordnet werden (Ganssen, 1983; Oberhänsli *et al.*, 1992; Sautter & Thunell, 1991). Sie sind auf jeden Fall auf merkwürdige Weise eng zu den  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten korreliert (Deuser *et al.*, 1981). Möglicherweise weist die hohe Korrelation der C- und O-Isotope auf variierende Vital-effekte im Zuge der Ontogenie hin (Deuser *et al.*, 1981). Im umgebenden Meerwasser variieren nämlich die  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte voneinander unabhängig. Daher sei die im allgemeinen vergleichsweise gute Übereinstimmung der  $\delta^{13}\text{C}$ -Jahresmittel aus der Wassersäule mit den  $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerten der Gehäuse ein Artefakt (Deuser *et al.*, 1981).

Für die Rekonstruktion der Zwischen- und Tiefenwassermassen diene die benthischen Foraminifere *C. wuellerstorfi* als Signalträger. Durch ihre epibenthische, an bis zu 14 cm über die Sedimentoberfläche hinausragende

Substrate geheftete Lebensweise (Lutze & Thiel, 1987; Lutze & Thiel, 1989) ist sie *der* Kronzeuge für die Zusammensetzung des Bodenwassers. Der Vergleich mit Wasser-Isotopenwerten ergab, daß das  $\delta^{13}\text{C}$ -Verhältnis in den Gehäusen genau im isotopischen Gleichgewicht aufgezeichnet wird (Duplessy *et al.*, 1984.; Sarnthein *et al.*, 1994; Zahn *et al.*, 1986) während die O-Isotopenwerte konstant um  $-0.64\text{‰}$  vom Sollwert abweichen (Duplessy *et al.*, 1984.; Shackleton, 1974).

Schwerer deutbar sind  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte nur in Regionen mit hoher Primär-/Exportproduktivität. Hier können nämlich Fluff-Lagen auftreten, in denen das isotopisch leichte organische Material so hoch konzentriert ist, daß es durch Aufoxydation zu  $\text{CO}_2$  die Signatur der Bodenwasserbelüftung überprägt (Mackensen *et al.*, 1994; Sarnthein *et al.*, 1994). Jedoch können derartige Störsignale im nördlichen NE-Atlantik vernachlässigt werden, da die Primärproduktion hier gegenwärtig niedrig ist (Koblentz-Mishke *et al.*, 1970) und in dem hier untersuchten Zeitrahmen ebenso niedrig, wenn nicht noch niedriger war (Manighetti & McCave, 1995a; Thomas *et al.*, 1995).

Für die vorliegende Arbeit stehenden Sedimentkerne aus Wassertiefen zwischen 1100 und 3900 m zur Verfügung (vgl. Tab. 1). Mit Hilfe der Benthos-Isotopenwerte können somit Vertikalschnitte konstruiert werden, die die wichtigsten Boden- und Zwischenwassermassen der Nordatlantiks erfassen. Die planktischen Isotopenwerte komplettieren als Signalträger des Oberflächenwassers die Basis für die Rekonstruktion der Klimageschichte.

## 2.2. Stabile Isotopenwerte in synoptischen Zeitscheiben

Für zeitlich wohl definierte Intervalle (s.u.) wurden die O- und C-Isotopenwerte gemittelt und diese Durchschnittswerte entsprechend ihrer jeweiligen geographischen Position und Wassertiefe in Vertikaltransekte eingesetzt. In Zusammenschau mit Rekonstruktionen der Zusammensetzung des Paläo-Oberflächenwassers (Sarnthein *et al.*, in press; Weinelt, 1993) wird auf diese Weise die Herkunft und Wechselwirkung von Oberflächen- und Tiefenwasserzirkulation analysiert. Hierbei steht das *geochemische*  $\delta^{13}\text{C}$ -Signal, als Anzeiger für die "*Belüftungskopplung*" von Oberflächen- und Tiefenwassermassen im Vordergrund.

Um als *physikalisches* "Standbein" auch die *Dichtekopplung*, also das Potential des Oberflächenwassers zur Tiefenwasserbildung zu rekonstruieren, wird die Paläo-Salinität und -Dichte des Oberflächenwassers abgeschätzt und zwar aus einer Kombination von Plankton- $\delta^{18}\text{O}$ -Werten und Schätzwerten der Paläo-Oberflächentemperatur, die aus der Zusammensetzung der Foraminiferengemeinschaften berechnet werden (im Wesentlichen Daten von (CLIMAP-Project-Members, 1976; Maslin, 1993; Schulz, 1995) abgeleitet, mit Hilfe der der SIMMAX-Transfertechnik; (Pflaumann, in press)). Für Sedimentkernpositionen ohne eigene Paläotemperaturwerte wurde zwischen den Paläotemperaturwerten von Nachbarstationen interpoliert und z.T. auch extrapoliert, wobei zwangsläufig eine größere Unschärfe der Temperaturschätzwerte in Kauf genommen werden mußte. Paläosalinitätsdaten wurden analog zu Duplessy *et al.* (1991) berechnet. Die Paläo-T-S-Werte der einzelnen Kernstationen wurden in T-S-Dichte-Diagrammen nach Cox *et al.* (1970) und Labeyrie *et al.* (1992) zu Paläo-Wassermassen zusammengefaßt und mit Dichte-Schätzwerten für das eiszeitliche NADW verglichen (ermittelt durch henthische  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte und die Annahme von Mindesttemperaturen).

### 3. Methoden

#### 3.1. Probennahme

Das Probenmaterial dieser Arbeit wurde auf drei METEOR-Forschungsreisen (Spätsommer 1989: M11-1, nördlicher Nordatlantik; Sommer 1991: M17/2, Norwegisch-Grönländische See und Sommer 1992: M21/5, Norwegisch-Grönländische See) gewonnen und durch Datenmaterial aus der Literatur (Bertram *et al.*, 1995; Curry *et al.*, 1988; Jansen & Veum, 1990; Labeyrie *et al.*, 1992; Maslin, 1993; Oppo & Lehman, 1993; Schulz, 1995; Shackleton & Hall, 1984) ergänzt (vgl. Abb. 1 und Tab. 1). Der Sedimentkernentnahme ging jeweils eine ausführliche sedimentakkustische Sondierung mit Parasound und 3,5 kHz-Echolot voraus, um ausschließlich ungestörte hemipelagische Sedimente zu beproben. Die Sedimentkerne wurden mit kontinuierlichen stratigraphischen Verfahren (magnetische Suszeptibilität, P- und S-Wellengeschwindigkeiten (Chi, 1995)) analysiert und in 1-10 cm Abständen für die Isotopenstratigraphie beprobt.

#### 3.2. Probenaufbereitung

Die Probenaufbereitung für die Isotopenanalysen und die Messung der physikalischen Sedimenteigenschaften erfolgte nach den in Kiel bewährten Standardverfahren (vgl. Abb. 2). Um eine Kontamination durch Fremdkarbonate während der Schlämmarbeiten zu vermeiden, wurden die Siebe nach jedem Gebrauch im Ultraschallbad gereinigt und mögliche Reste vorangehender Proben in den Siebmaschen mit Methyl-Blau gekennzeichnet. Um die Reproduzierbarkeit der Isotopenanalysen zu verbessern und den Einfluß des von Bioturbation verursachten Hintergrundrauschens zu minimieren, wurden je Probe bis zu 60 Individuen der planktischen Foraminiferen isotopisch untersucht, ein Verfahren, das von (Maslin, 1993) bestätigt wurde.

#### 3.3. Isotopenanalyse

Die Messung der stabilen Sauerstoff und Kohlenstoffisotopen wurde im  $^{14}\text{C}$ -Labor des Institutes für Reine und Angewandte Kernphysik - jetzt Leibniz-Labor - der Universität Kiel mit einem Finnigan MAT 251-Massenspektrometer durchgeführt, an das eine zweilinige Karbonat-Aufbereitungsanlage gekoppelt ist. Das interne Referenzgas wurde gegen den NBS 20 Standard geeicht. Die Gesamtproduzierbarkeit der auf den PDB-Standard umgerechneten  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte liegt bei 0,09 ‰, die der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bei 0,04 ‰ (Erlenkeuser, frndl. mündliche Mitteilung).



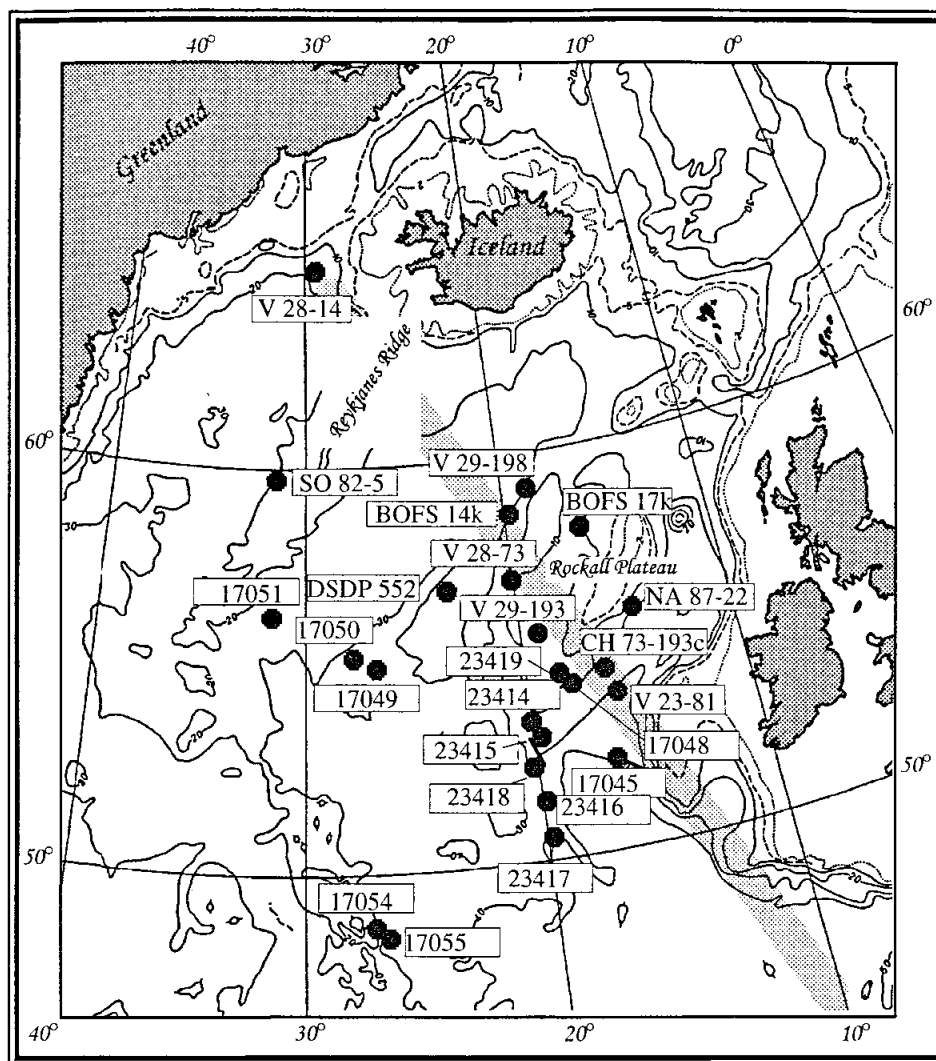


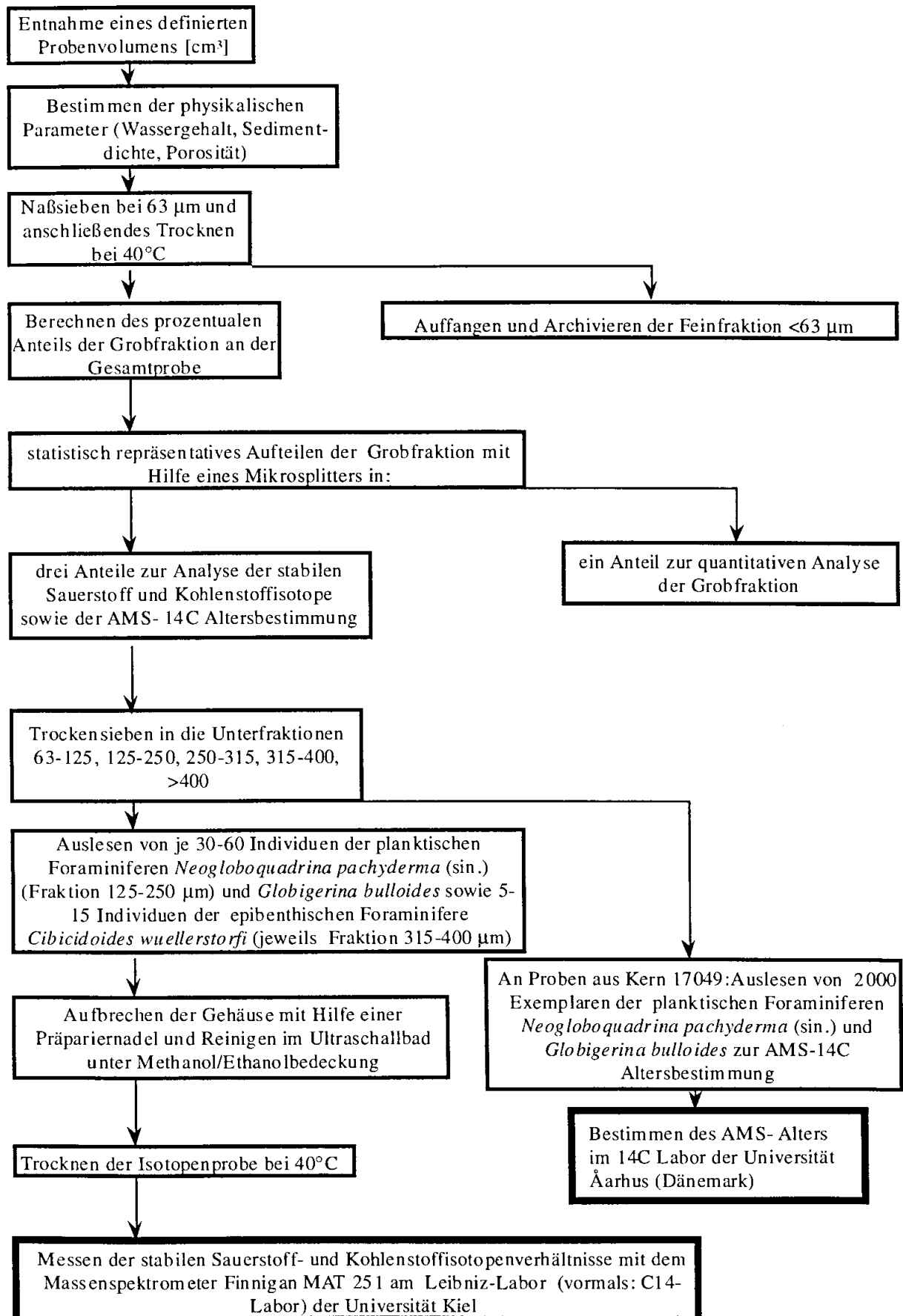
Abb. 1. Karte der Kernpositionen; graue Linie zeigt Orientierung der paläoozeanographischen E-W-Profile von Abb. 13.

Fig. 1. Core location map. Grey line shows orientation of NW-SE running stable isotopetranssect of Fig. 13

Abb. 2. Ablaufplan der Probenaufbereitung

Fig. 2. Flow chart of the sample preparation

## Probenaufbereitung:



Tab. 1. Kernpositionen im N-Atlantik

Tab. 1. Core positions in the N-Atlantic

Core number	Geographic Position		Water-depth [m]	Data source
	Lat. N°	Lon. W°		
17045	52° 25.5'	16° 39.9'	3663	Winn et al. (1991) + Sarnthein et al. (1994) + this work
17048	54° 18.4'	18° 10.5'	1859	Winn et al. (1991) + Sarnthein et al. (1994) + this work
17049	55° 15.6'	26° 43.5'	3331	this work
17050	55° 28.2'	27° 53.3'	2795	this work
17051	56° 09.8'	31° 59.4'	2295	this work
23414	53° 32.2'	20° 17.3'	2196	this work
23415	53° 10.7'	19° 8.7'	2472	this work
23416	51° 34.1'	20° 0.0'	3616	this work
23417	50° 40.1'	19° 25.9'	3850	this work
23418	52° 33.0'	20° 20.0'	2841	this work
23419	54° 57.7'	19° 45.3'	1491	this work
SO 82-5	59° 11.28'	30° 54.48'	1416	this work
published data				
17054	48.45°	27.70°	1834	Winn et al. (1991) + Sarnthein et al. (1994)
17055-2	48.21°	27.06°	2510	Winn et al. (1991) + Sarnthein et al. (1994)
17055-1	48.22°	27.06°	2558	Winn et al. (1991) + Sarnthein et al. (1994)
BOFS 17K	58.00°	16.50°	1150	Bertram et al. (1995)
CH73-139c	54.63°	16.35°	2209	Centre des Faibles Radioac., Lab. mixte, CNRS-CEA, Gif-sur Yvette Cedex, France/ Sarnthein et al. (1994)
DSDP 552	56.05°	23.23°	2311	Shackleton & Hall (1984)
NA87-22	55.50°	14.70°	2161	Centre des Faibles Radioac., Lab. mixte, CNRS-CEA, Gif-sur Yvette Cedex, France/ Sarnthein et al. (1994)
V23-81	54.25°	16.83°	2393	Jansen & Veum (1990)
V28-14	64.78°	29.57°	1855	Curry et al. (1988)
V28-73	57.00°	20.00°	2063	Oppo & Lehman (1993)
V29-193	55.00°	19.00°	1326	Oppo & Lehman (1993)
V29-198	59.00°	15.00°	1139	Oppo & Lehman (1993)
BOFS 14K	59°	19°W	1756	Bertram et al. (1995)
SU81-50	45.38°	04.65°	4320	Centre des Faibles Radioac., Lab. mixte, CNRS-CEA, Gif-sur Yvette Cedex, France/ Sarnthein et al. (1994)
SO75-26KI	37° 49,3	09° 30,2	1099	Zahn et al. (submitted to Paleoceanography)

## 4. Methoden und Ergebnisse der absoluten Altersbestimmung

### 4.1. Auswahl und Alter der AMS-14C Proben

Um Bioturbationseffekte auf die AMS14C-Alter zu minimieren, werden üblicherweise nur die Häufigkeitsmaxima von je einer einzigen Foraminiferenart datiert (Broecker *et al.*, 1984). Diese Anforderung kann bei dem Datieren der laminierten Sedimentlagen von Kern 17049 außer Acht gelassen werden, da laminierte Sedimente eine bioturbate Verwühlung *per se* ausschließen. Unmittelbar im Hangenden und Liegenden der laminierten Sedimentlagen wurde daher das Probenmaterial aus 1,8-5 cm Sedimentprofil solange zusammengefaßt, bis die für eine AMS 14C-Datierung notwendige Menge von Foraminiferen erreicht war. Allerdings werden mit wachsendem Abstand von den Laminitgrenzen die AMS-14C-Alter wieder zunehmend bioturbat verfälscht (Trauth, 1995). Die um die üblichen 400 Jahre Reservoireffekt-korrigierten (Broecker *et al.*, 1992a) Altersmischwerte zeigen somit eine maximale Dauer der Laminitesedimentation an. Ja sie überschätzen eher den eigentlichen Zeitraum. Die an Kern 17049 gemessenen Alter sind in Tabelle 2 zusammengefaßt (vgl. Abb.4).

Tab. 2. AMS<sup>14</sup>C-Alter der laminierten Sektionen von Sedimentkern 17049

Tab. 2. AMS<sup>14</sup>C-ages of the laminated sections in sediment core 17049

AMS-C14 Alter für Sedimentkern 17049				
Probenintervall	Foraminiferenart	14C-Alter	14C-Alter Reservoir kor. (-400a)	Postition zu Laminiten
92.5-97.5	<i>G. bulloides</i>	6830±120	6430±120	nahe Obergrenze bei ca. 110 cm
120	<i>G. bulloides</i>	10550±200	10150±200	nahe Basis bei 118 cm
120	<i>N. pachyderma (sin)</i>	12220±210	11820±210	nahe Basis bei 118cm
210	<i>N. pachyderma (sin)</i>	28200±360	27800±360	nahe Obergrenze bei ca. 225 cm
270-275	<i>N. pachyderma (sin)</i>	29000±350	28600±350	nahe Basis bei 269 cm

Das AMS14C-Alter von *G. bulloides* und aus 120 cm Teufe ist um fast 1700 Jahre jünger als das von *N. pachyderma (sin.)*. *N. pachyderma (sin.)* ist im NE-Atlantik im Stadium 2 und 3 viel häufiger als danach. Daher könnte vermutet werden, daß glaziale Individuen in die jüngeren Sedimentsektionen hinauf verwühlt wurden. Ihre AMS14C-Alter sind oberhalb von Stadium 2 daher vermutlich "zu alt". Die *G. bulloides*-Gehalte sind zwar bereits in der Termination erhöht, erreichen aber maximale Werte erst im Holozän (Maslin, 1993). Daher dürften Individuen von *G. bulloides* vornehmlich aus dem Holozän in die älteren Sektionen verwühlt worden sein. In diese Richtung wirkt jedoch der Laminithorizont 1 als Barriere. Höchstwahrscheinlich ist also das AMS-14C- Alter von

*G. bulloides* (10 150Jvh.) bei 120 cm kaum bioturbat verzerrt. Die Laminittlage ist somit an das Ende der Jüngerer Dryas einzustufen. Umgekehrt kann gefolgert werden, daß das AMS-14C-Alter von 6430 J. v. h.. aus 92,5-97,5 cm Tiefe deutlich zu jung ist, weil hier der Bioturbationsdruck ausschließlich nach unten gerichtet war.

Die linear interpolierten Sedimentationsraten sind im Laminithorizont I größer als 6,7 cm/ka daher nicht zuverlässig. Im Laminithorizont 2 liegen sie bei mehr als 78 cm/ka und deuten auf extrem kurzzeitige Ereignisse, die diese hohen Sedimentation vor ca. 28 000 Jahren erzeugt haben, dem Heinrich Ereignis 3 (abweichend von Bond *et al.* (1993)) etwa zugleich sind (sensu Cortijo (1995)). Ähnlich hohe Raten sind analogiehalber wohl auch für Horizont I anzunehmen.

## 4.2. Konvertierung der AMS 14C-Alter: Chronostratigraphie in Kalenderjahren

Das ungleichförmige Fortschreiten der "14C-Uhr" im Vergleich zum absoluten Zeitverlauf ergab sich aus Parallel-Bestimmungen von AMS14C-Altern, U/Th-, dendrochronologischen und Warvenzähl-Altern (Bard *et al.*, 1990; Lotter *et al.*, 1992; Stuiver *et al.*, 1991) So zeigte sich, daß z.B. die 14C-Alter im Letzten Glazialen Maximum (LGM) im Vergleich zu den kalendarischen Altern um rund 3.500 Jahre zu niedrig waren und daß diese Differenz der Alter bei Stillständen der C14-Uhr in den letzten 30.000 Jahren in mehreren Einzelsprüngen zunahm.

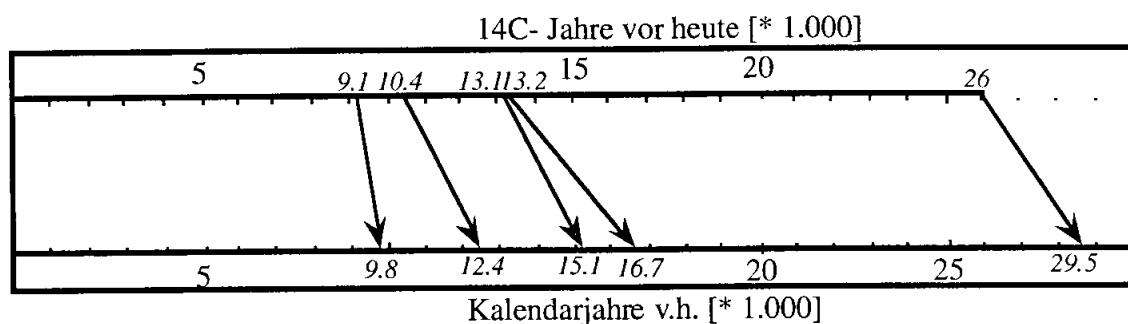


Abb. 3. Zeitverschiebung zwischen  $^{14}\text{C}$ - und Kalenderaltern; Pfeile markieren Fixpunkte der Zeitumrechnung nach Winn *et al.* (1991).

Fig. 3. Difference between  $^{14}\text{C}$  and calendar ages; arrows indicate switch points for conversion of age scales after Winn *et al.* (1991).

Die Umrechnung von 14C-Jahren in Kalenderalter stützt sich in der Kieler Arbeitsgruppe vereinfachend auf fünf Wendepunkte, die Winn *et al.* (1991) aus der Literatur extrahiert haben (vgl. Abb. 3). Um die tatsächliche Zeitauflösung in den einzelnen Isotopenkurven zu verdeutlichen, sind daher alle Alter in den folgenden Abbildungen in kalendarischen Jahren angegeben. Im Anhang werden auch die entsprechenden Radiokarbonalter aufgeführt, um den Vergleich mit anderen Altersangaben in der Literatur zu erleichtern. Da jenseits von 20.000 Kalenderjahren bisher keine C14-Plateaus identifiziert wurden, wurde der LGM-Zeitversatz von 3.500 Jahren in erster Näherung gleichbleibend bis 40.000 14C-Jahre zurückextrapoliert. D.h., 40 14Cka wurden 43,5 kalka gleichgesetzt. Zwischen 43 500 und 55 000 Kalenderjahren ( $\delta^{18}\text{O}$ -Stadium 3.31) wurde die Zeitdifferenz durch

Interpolation linear teleskopiert, um die Chronologie ab dort in die astronomische SPECMAP-Zeitskala nach (Martinson *et al.*, 1987) einzuhängen.

### 4.3. Altersfixpunkte in den Sedimentkernprofilen

Außer bei Kern 17049 standen folgende AMS 14C-datierte  $\delta^{18}\text{O}$ -Profile aus folgenden Kernen zur Verfügung (vgl. Abb. 4): von Kern CH 73-139c (Bard *et al.*, 1987), M 17045 (Sarthein *et al.*, 1994; Trauth, 1995), NA 87-22 (Labeyrie *et al.*, 1987), V 23-81 (Jansen & Veum, 1990), SO82-5 (Gehrke *et al.*, in press) und BOFS 5k (Manighetti *et al.*, 1995; Maslin, 1993). Aus der Zusammenschau aller AMS-14C-Daten wurden für die letzten 26 000 Jahren für eine Reihe von Ereignissen der  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven (Tab. 3) mittlere 14C-Alter errechnet und in kalendarische Jahre umgerechnet (s.o.). Jenseits von 40 000 Jahren wurden die stratigraphischen Ereignisse der  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven in die Ereignisse der SPECMAP-Standardkurve (Martinson *et al.*, 1987) eingehängt und dadurch datiert.

Die stratigraphische Korrelation der O-Isotopenkurven wurde außerdem durch kontinuierliche sedimentphysikalische Meßreihen erheblich verfeinert und präzisiert. Hierzu dienten die Heinrich-Lagen (in Abb. 5 und 6 markiert), die durch magnetische Suszeptibilitätsmaxima, Wassergehaltsminima und Grobfraktionsmaxima in den Sedimentkernen vom Rockall-Plateau leicht zu identifizieren waren.

Die Gipfel der Heinrich Ereignisse 1-4 wurden zeitlich nach Bond *et al.* (1993) eingestuft (vgl. Tabelle 3 und 4). Bei Heinrich Ereignis 4 sind die Altersschätzwerte von Manighetti *et al.* (1995) um mehr als 4000 Jahre älter als die AMS14C-Alter von Cortijo (1995) und Bond *et al.* (1992) (vgl. Tab. 3) und werden als fragwürdig im Folgenden nicht weiter beachtet. Die Ursache des Unterschiedes nämlich ist unklar. Die zeitliche Einstufung der übrigen Heinrich- und vergleichbarer Ereignisse (in Abb. 5 und 6 markiert) basiert auf interpolierten Alterswerten. Hierzu wurde in jedem Sedimentkern zwischen den SPECMAP- und AMS 14C-Altersfixpunkten (s.o.) linear interpoliert. Anschließend wurden diese Alter der Heinrich-Ereignisse 5-9 gemittelt. Diese Mittelwerte wurden schließlich für alle weiteren Überlegungen zugrunde gelegt (Tab. 4).

Tabelle 3.  $^{14}\text{C}$ -Alter von  $\delta^{18}\text{O}$ -Ereignissen (gemittelt, nach Winn *et al.* 1991) und Heinrich-Ereignissen

Tabelle 3.  $^{14}\text{C}$ -ages of  $\delta^{18}\text{O}$ -events (averaged, after Winn *et al.* 1991) and Heinrich-Events

AMS14C-dated $\delta^{18}\text{O}$ - and Heinrich-events					
$\delta^{18}\text{O}$ -event	C14-age	calendar age	Heinrich -Events	mean AMS-C14-ages after	
				Bond et al. 1992/3	Cortijo 1995
end of term. Ib	9.1	9.8			
start of term. Ib	10.4	12.4	1	13.75	14
end of term. Ia	13.6	17.1	2.1	21	21
start of term. Ia	14.8	18.3	3	27.3	28
event 3.1	26	29.5	4	34.91	33.2-35.1

Zusätzlich zum bekannten Heinrich Ereignis 2 (nachfolgend als Heinrich Ereignis 2.1 bezeichnet) wurde in den Sedimentkernen 23415, 23416 und 23418 noch ein Heinrich-Ereignis 2.2 identifiziert, dessen Alter zwischen 26 und 27 ka liegt. Für Heinrich-Ereignis 5 wurde ein Alter von 50.6 ka interpoliert, das mit den publizierten Werten von ca. 50 ka (Bond *et al.*, 1993) und 51,3 ka (Manighetti *et al.*, 1995) gut übereinstimmt. Im Kern 23414 und 23416-23418 ist außerdem das Heinrich Ereignis 6 als doppelgipfeliges IRD-Ereignis ausgebildet (Ereignis 6.1 und 6.2 der Sedimentkerne 23416-23418; vgl. Abb. 5 und 6; außerdem vgl. die magnetische Suszeptibilitätskurven von Robinson *et al.* (1995)). Dafür wurden Alter von ca. 58.2 respektive 62.7 ka ermittelt. Vergleichshalber wurde Heinrich Ereignis 6 von Bond *et al.* (1992) und Cortijo (1995) mit etwa 64 ka und von Manighetti *et al.* (1995) mit etwa 67 ka datiert. Die Alter der Heinrich-Ereignisse 7-9 wurden auf 85.5, 128.5 und 136.2 ka gemittelt (Tab. 4).

Tabelle 4. Alter (in Kalenderjahren) und geschätzte Dauer der Heinrich Ereignisse (wie in Abb. 6 markiert)

Table 4. Age (in calendar years) and estimated duration of Heinrich events (as marked in Fig. 6)

Core	HI1	HI2.1	HI2.2	HI 3	HI 4	HI 5	HI 6.1	HI 6.2	HI 7	HI 8	HI 9
23414	17.25	24.50		30.80	38.41	53.46	56.87	58.98	78.30	128.69	133.86
23415	17.25	24.50	27.36	30.80	38.41	49.59		63.93	88.61	129.43	140.09
23416	17.25	24.50	27.25	30.80	38.41	51.82	61.51	65.62	88.91	127.07	135.34
23417	17.25	24.50		30.80	38.41	47.92	57.66	62.11			
23418	17.25	24.50	26.53	30.80	38.41	50.00	56.61	62.80	86.37	128.77	135.34
23419	17.25	24.50			38.41			62.72			
Mean:	17.25	24.50	27.05	30.80	38.41	50.56	58.16	62.70	85.55	128.49	136.18

Alter für Heinrich-Ereignisse 1-4 nach Bond *et al.* (1992/3) umgerechnet in Kalendarische Alter

Core	Heinrich Ev. 1 end start	Heinrich Ev. 2.1 end start	Heinrich Ev. 2.2 end start	Heinrich Ev. 3 end start	Heinrich Ev. 4 end start	Heinrich Ev. 5 end start	Heinrich Ev. 6.1 end start	Heinrich Ev. 6.2 end start
23414	16.57 17.3	24.11 25.25		31.95 32.68	38.24 39.71	49.89 51.49	57.34 58.71	
23415	16.37 17.55	23.84 25.10	26.34 27.44	30.67 31.13	37.69 39.58	49.80 52.15		60.40 64.23
23416	16.26 17.55	23.91 24.65	27.18 27.81	29.87 31.20	37.66 39.06	48.45 51.00	57.12 59.51	61.72 67.84
23417	15.14 17.7	23.51 25.46		29.97 31.07	37.66 39.58	49.44 51.95	57.35 58.97	60.20 66.46
23418	15.54 17.33	23.91 24.80	26.30 26.60	29.99 31.20	37.79 39.19	49.49 52.03	57.34 59.01	61.35 64.03
23419	14.99 17.	24.11 25.51						61.72 63.46
Mean:	15.81 17.41	23.90 25.13	26.61 27.28	30.49 31.46	37.81 39.43	49.41 50.72	57.29 59.05	61.08 65.20

Abb. 4. AMS 14C datierte  $\delta^{18}\text{O}$ -Profile: Kern CH 73-139c (Bard *et al.*, 1987), M 17045 (Sarnthein *et al.*, 1994; Trauth, 1995), Kern 17049 (siehe Tabelle 3; laminierte Horizonte grau unterlegt), NA 87-22 (Labeyrie *et al.*, 1987), V 23-81 (Jansen & Veum, 1990), SO82-5 (Gehrke *et al.*, in press) und BOFS 5k (Manighetti *et al.*, 1995; Maslin, 1993)

Fig. 4.  $\delta^{18}\text{O}$ -records dated by AMS14C-ages : core CH 73-139c (Bard *et al.*, 1987), M 17045 (Sarnthein *et al.*, 1994; Trauth, 1995), core M17049 (see table 3, laminated horizons shaded), NA 87-22 (Labeyrie *et al.*, 1987), V 23-81 (Jansen & Veum, 1990), SO82-5 (Gehrke *et al.*, in press) and BOFS 5k (Manighetti *et al.*, 1995; Maslin, 1993)



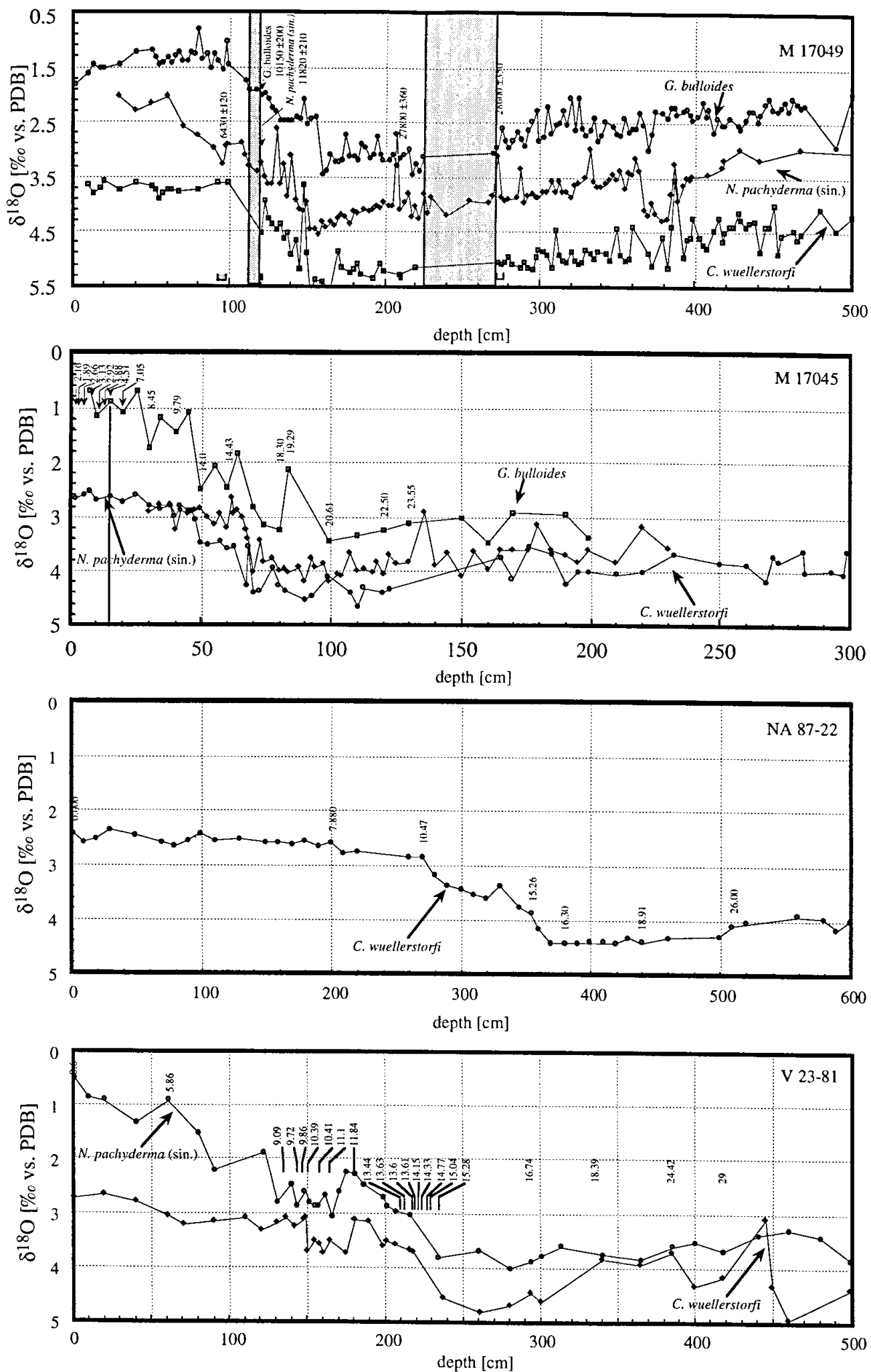


Abb. 4 / Fig. 4

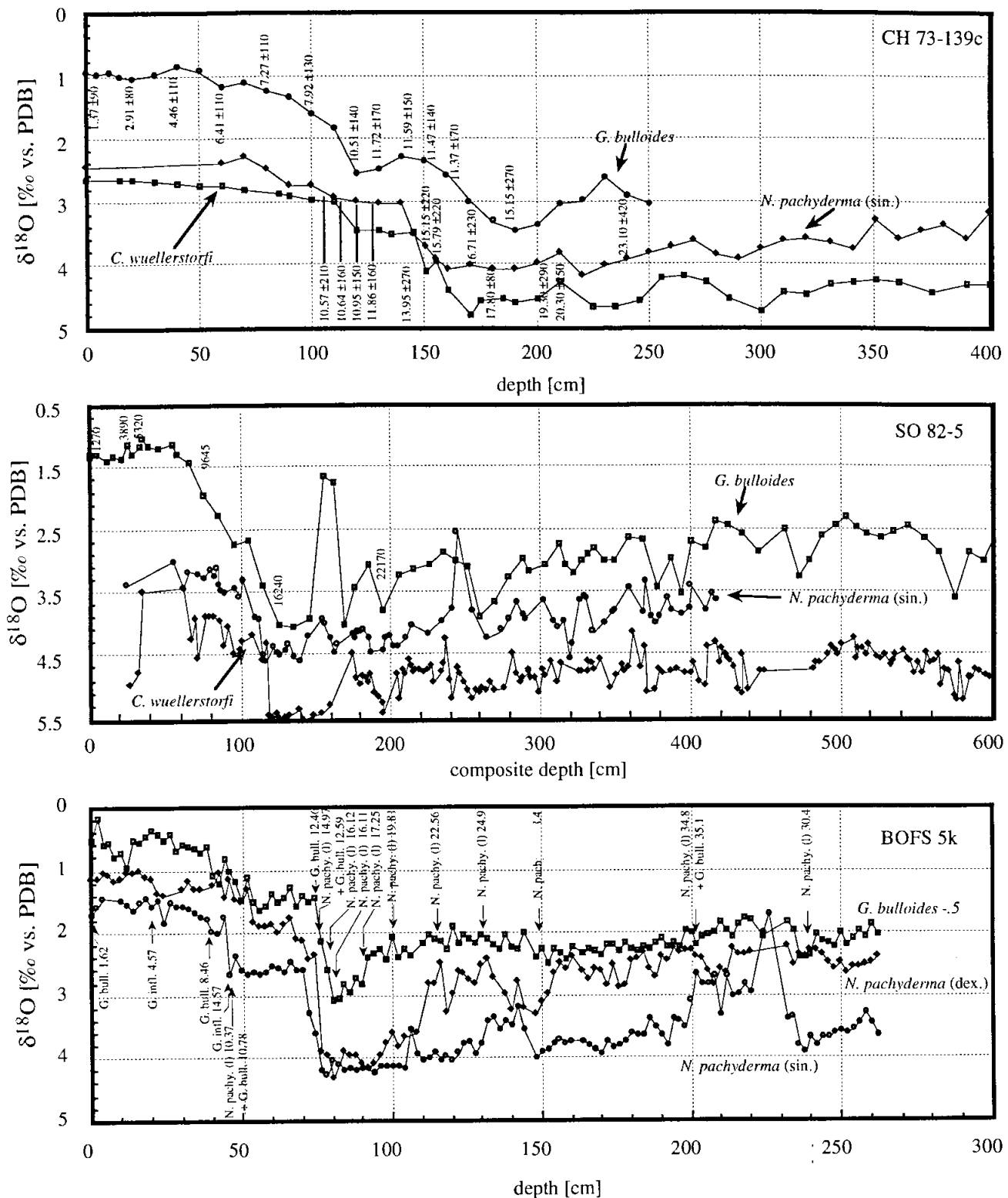


Abb. 4 / Fig. 4 continued

Abb. 5. Kurven der Magnetischen Suszeptibilität (Chi, 1995), der Wasser- und Grobfraktionsgehalte sowie  $\delta^{18}\text{O}/\delta^{13}\text{C}$ -Kurven gegen Kerntiefe am Rockall Plateau (Kernnummer rechts oben). Heinrich Lagen (grau markiert) sind durch Magnetische Suszeptibilitäts- und Grobfraktionsmaxima sowie Wassergehaltsminima gekennzeichnet. Pfeile und Grau-Weiß-Wechsel im Balken über den  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven weisen auf Alterfixpunkte in benthischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven (unten) und den Magnetischen Suszeptibilitäts- oder Wassergehaltskurven (oben). Vergleichshalber ist Kern 17051 als Beispiel für Kerne außerhalb des Heinrich-IRD-Gürtels dargestellt (siehe besonders die hier abweichenden Magnetischen Suszeptibilitäts- und Wassergehaltskurven).

Fig. 5. Magnetic susceptibility (Chi, 1995), water content, coarse fraction and stable isotope records vs. depth of sediment cores from Rockall Plateau (core number in the upper right corner). Heinrich Layers (shaded) are based on maxima of magnetic susceptibility and coarse fraction maxima and minima in water content. Arrows and grey-white bars point out age control points in the benthic  $\delta^{18}\text{O}$ -record (below) and the magnetic susceptibility and pore water records (above). As an example for cores outside of the IRD-belt core 17051 is shown (compare the differing magnetic susceptibility and water content records).

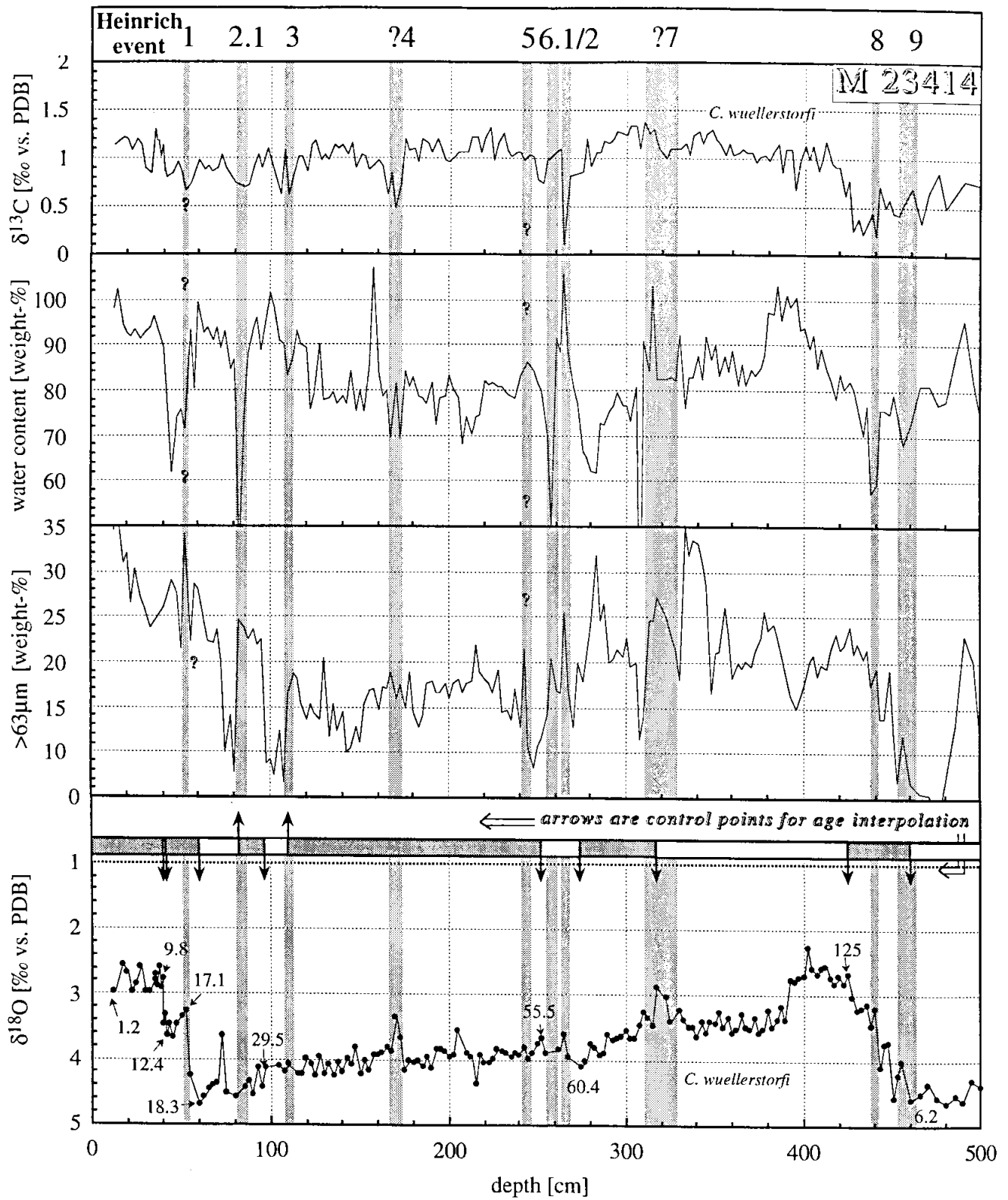


Abb. 5/ Fig. 5

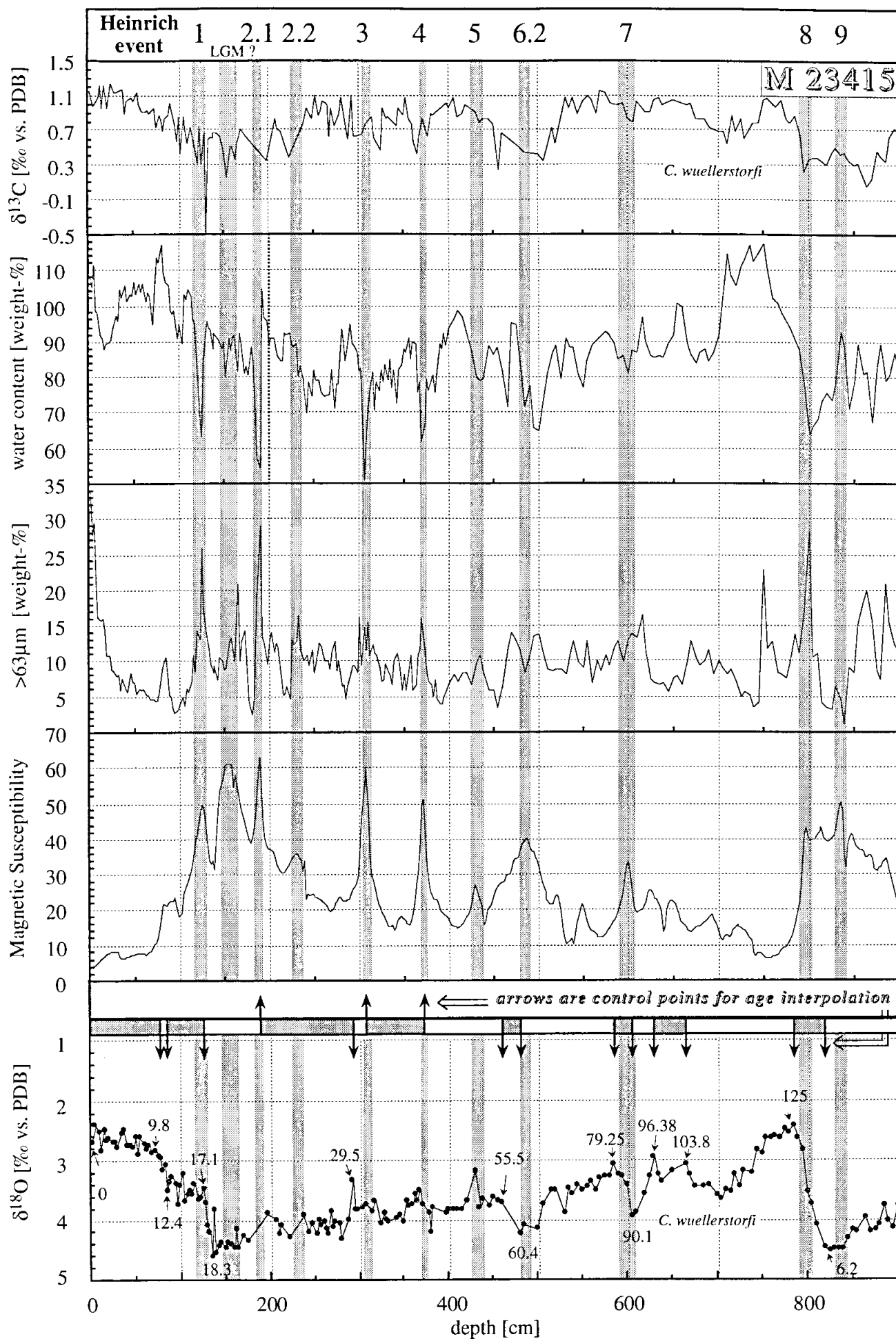


Abb. 5 Fortsetzung/ Fig. 5 continued

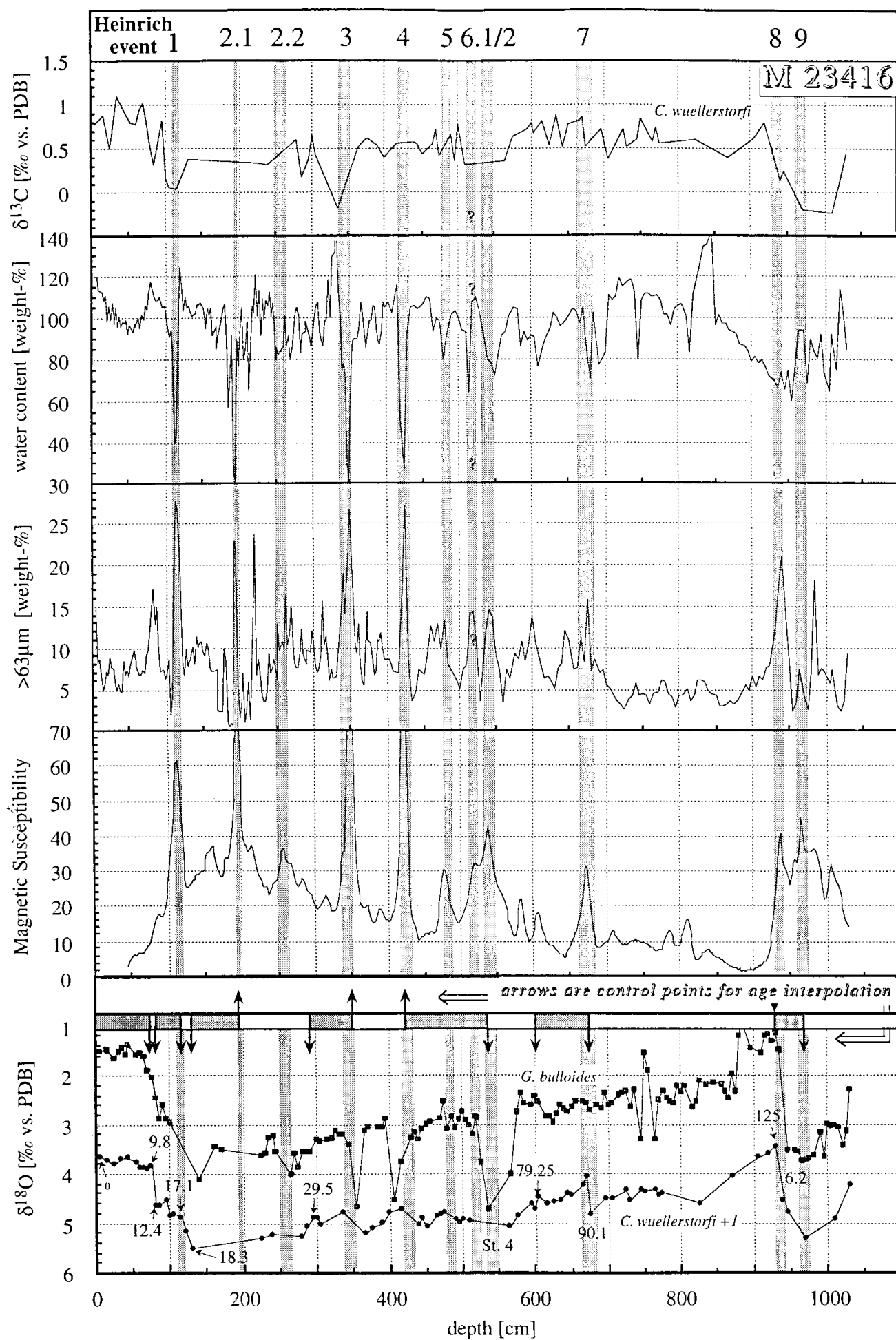


Abb. 5 Fortsetzung/ Fig. 5 continued

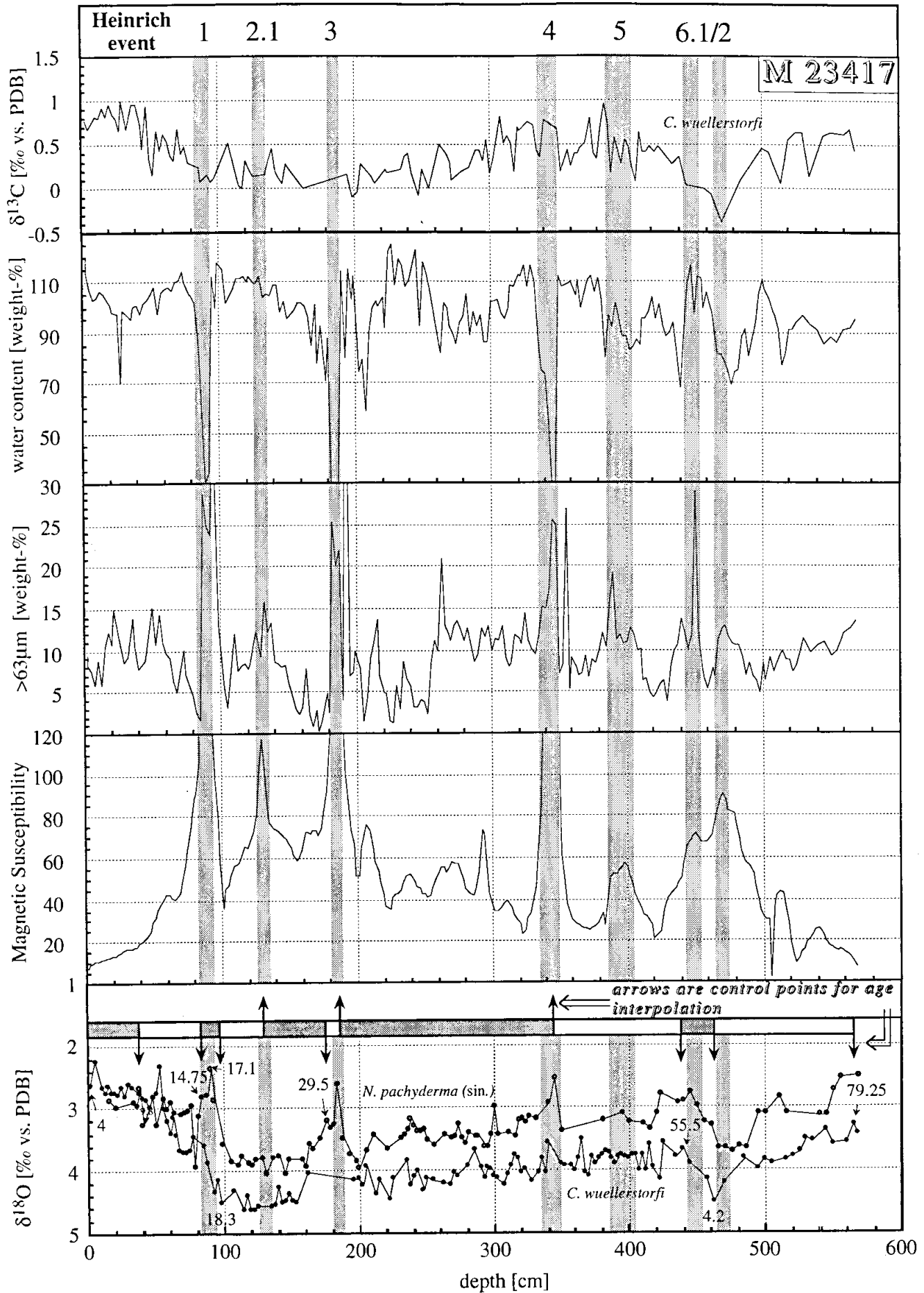


Abb. 5 Fortsetzung/ Fig. 5 continued

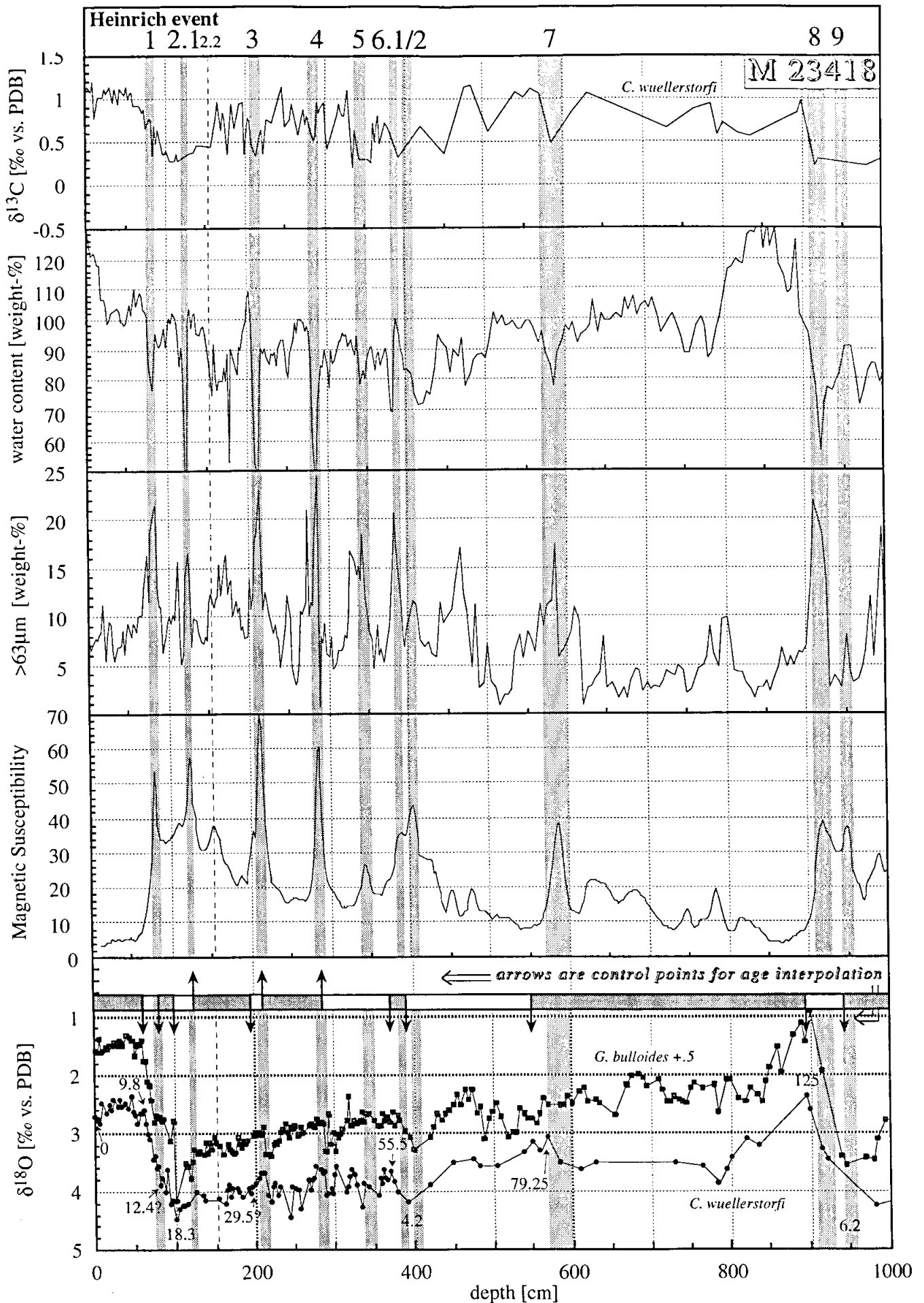


Abb. 5 Fortsetzung/ Fig. 5 continued



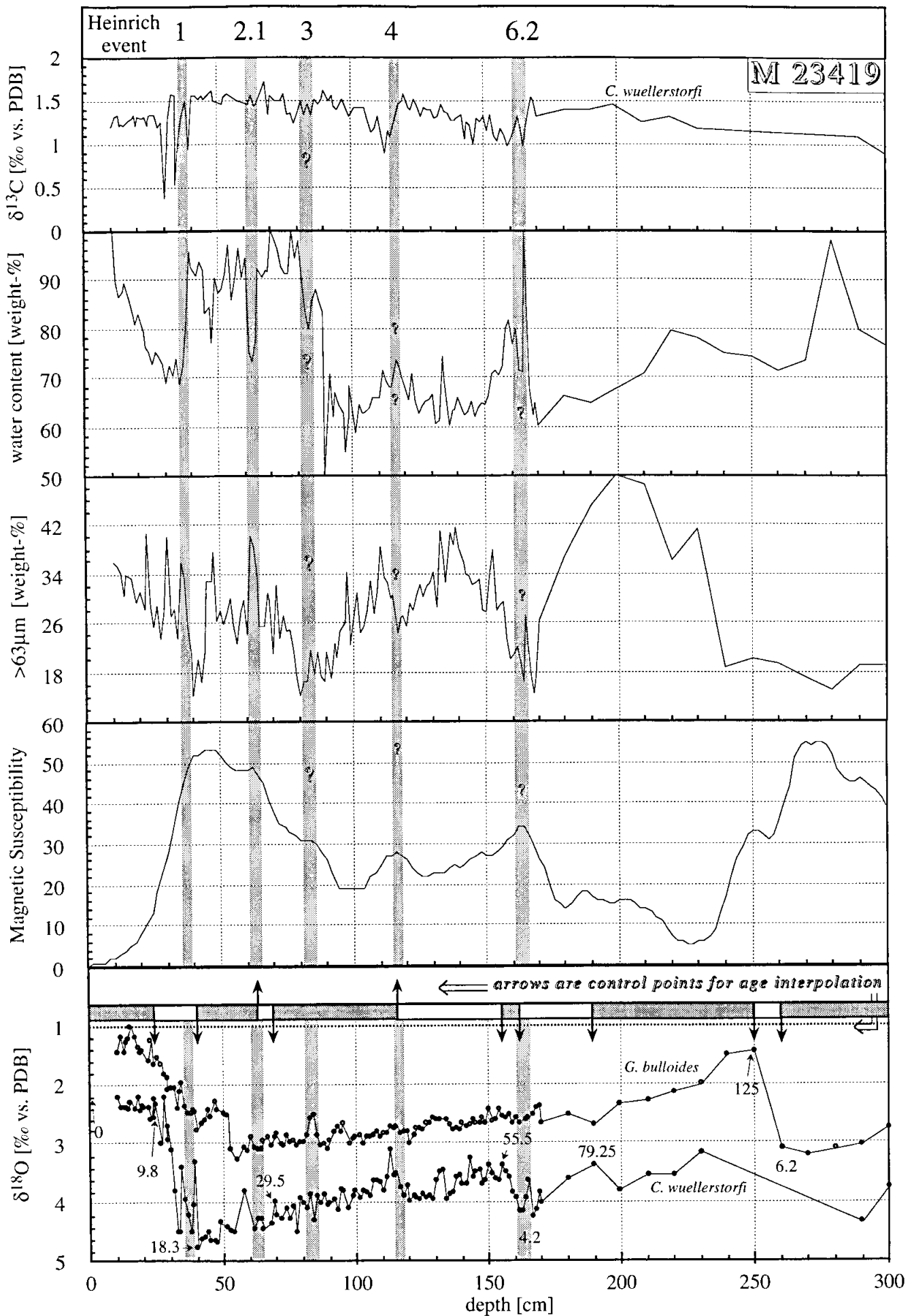


Abb. 5 Fortsetzung/ Fig. 5 continued

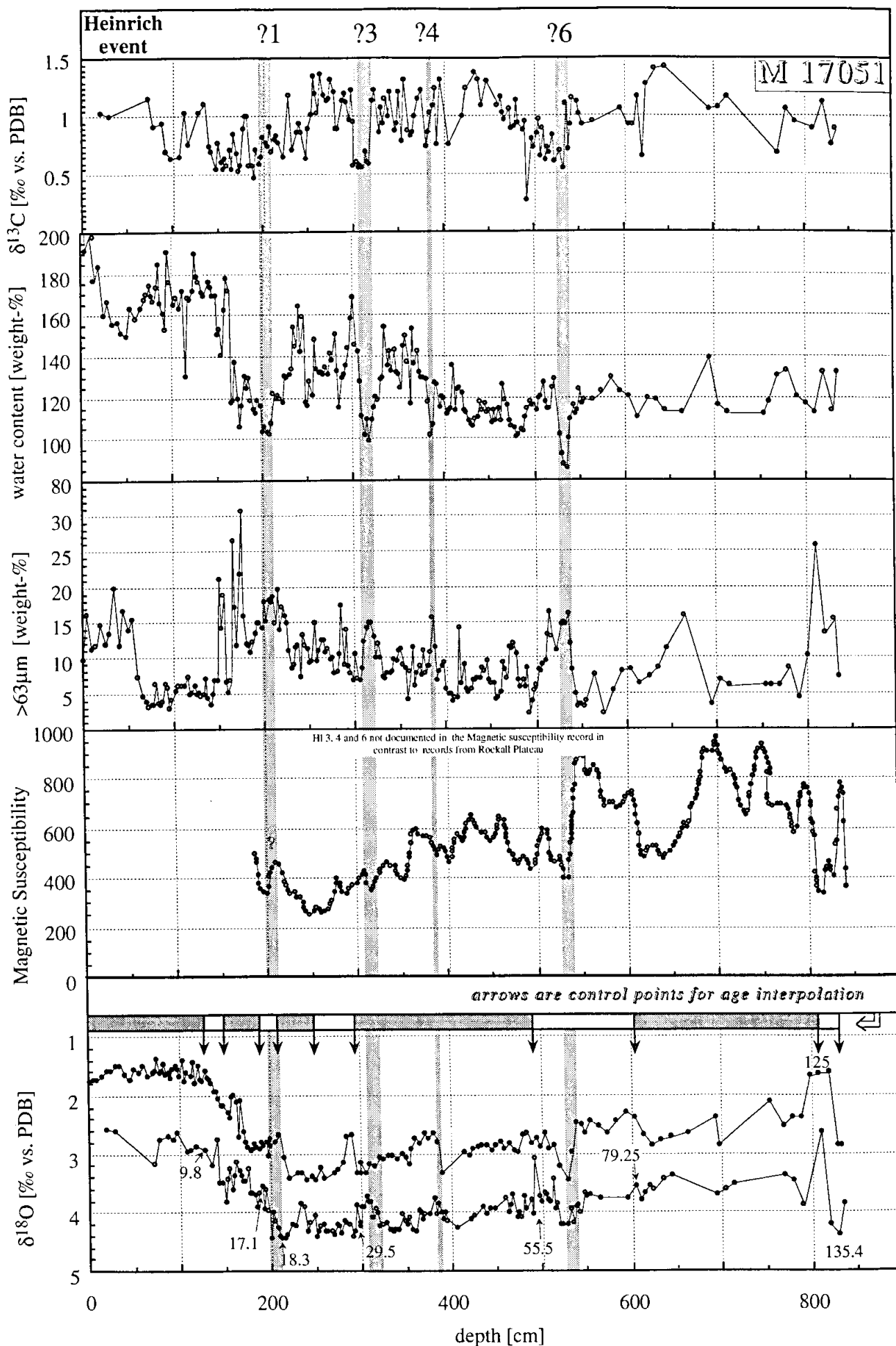


Abb. 5 Fortsetzung/ Fig. 5 continued

In Abb. 6 sind die Heinrich-Ereignisse 1-6 für die einzelnen Sedimentkerne vergrößert dargestellt. Diese Ereignisse sind durch markante Minima in den Wassergehaltskurven und Maxima in den Grobfraktions- und Magnetischen Suszeptibilitätskurven definiert. An den Kernstationen mit hoher Sedimentationsrate zeigen sich die IRD-Maxima im Wassergehalt, dem Grobfraktionsanteil und der Magnetischen Suszeptibilität auf nahezu derselben Teufe (vgl. Abb. 6). In Sedimentkern 23419 bilden die Heinrich Ereignisse 1-3 wegen der niedrigen Sedimentationsraten (vgl. Tab. 5) nur ein einziges gemeinsames Maximum in der Kurve der magnetischen Suszeptibilität, können daher nur in den Wassergehalts- und Grobfraktionskurven unterschieden werden.

Generell sind Heinrich-Ereignisse extrem kurzzeitige IRD-Pulse. Deren ungefähre Anfangs- und Endpunkte wurden an den H<sub>2</sub>O-Gehaltskurven markiert (in Abb. 5 und 6), mit Ausnahme der Heinrich Ereignisse 5 und 6.1/2 (vgl. Abb. 6, Legende), wo die magnetische Suszeptibilitätskurve diese Ereignisse deutlicher markiert. Das Alter von Anfang und Ende der Heinrich-Ereignisse (Tab. 4) wurde linear zwischen den oben genannten Altersfixpunkten interpoliert, wobei der bekannte Anstieg in den Sedimentationsraten während der Heinrich Ereignisse (Manighetti & McCave, 1995a) außer acht gelassen wird. Aus dieser Mittelung ergeben sich als mittlere Maximaldauer für Heinrich 1 ca. 1 600 Jahre, für Heinrich 2.1 ca. 1 200 Jahre, für Heinrich 2.2 ca. 700 Jahre, für Heinrich 3 ca. 800 Jahre, für Heinrich 4 ca. 1 500 Jahre, für Heinrich 5 ca. 1 300 Jahre, für Heinrich 6.1 ca. 1 800 Jahre und für Heinrich 6.2 ca. 4 000 Jahre. Wegen der jeweils wesentlich höheren Sedimentationsraten (Francis & Bacon, 1994) ist diese Dauer aber wahrscheinlich wesentlich kürzer. Francis & Bacon (1994) kommen nach Th230-Überschußprofilen für das Heinrich Ereignis 1 auf eine maximale Dauer von nur 600 Jahren.

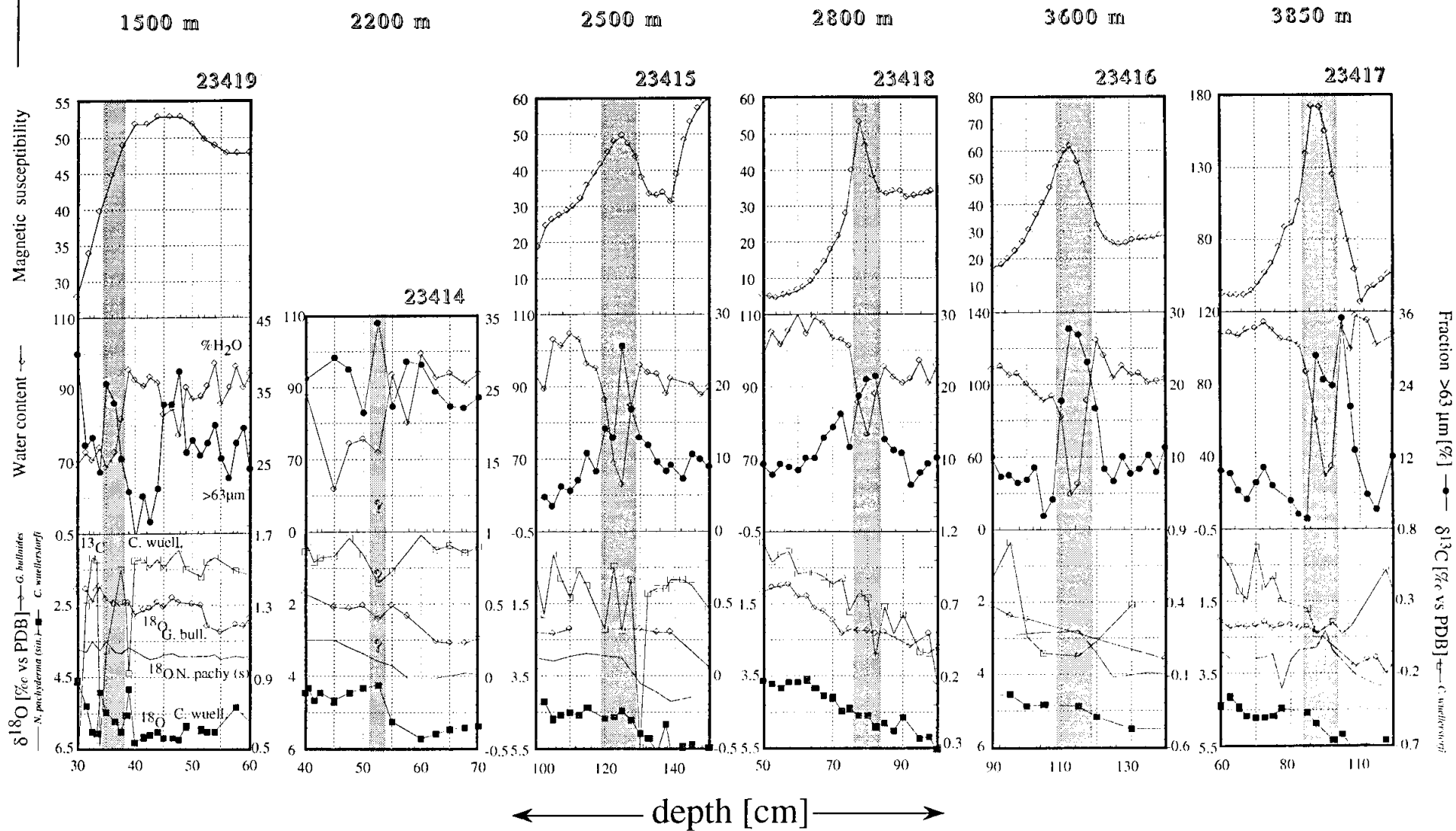
Außerhalb der Hauptzugstraße der "Heinrich-Eisberge" (Grousset *et al.*, 1993) weichen die sedimentphysikalischen Kurven derart deutlich von den Profilen beim südlichen Rockall-Plateau ab (vgl. Abb. 5), daß eine Korrelation der Ereignisse z.B. zwischen den Sedimentkernen 17049-51 nahe Rockall und Kern SO 82-5 am Südisland- Rücken unmöglich wurde.

Abb. 6. Detailvergrößerung von Heinrich-Eisschuttlagen 1 bis 6.2 in sechs Kernen vom Rockall Plateau. Grauschattierte Balken zeigen deren ungefähre Tiefenposition. Anfangs- und Endpunkte der Heinrich Ereignisse wurden an die Flanken der Wassergehaltsminima gelegt, mit Ausnahme von Heinrich Ereignis 5 und 6.1/2, wo die Magnetische Suszeptibilitätskurve (Chi, 1995) als Maß herangezogen wurde. In Kern 23414 und 23419 wurde Heinrich Ereignis 6.2, in Kern 23414 Ereignis 5 anhand der Grobfraktionskurve festgelegt.

Fig. 6. Blow-up of magnetic susceptibility (Chi, 1995), water content, coarse fraction and stable isotope records at Heinrich layers 1-6. Shaded areas indicate position of the Heinrich IRD layers, mainly based on the minima of water content. Identification of Heinrich Event 6.1/2 and 5 was based on the magnetic susceptibility record, identification of Heinrich Event 6.2 in core 23414 and 23419 and Heinrich Event 5 in core 23414 on the coarse fraction record.

# Heinrich Event 1

Abb. 6/ Fig. 6



# Heinrich Event 2.1

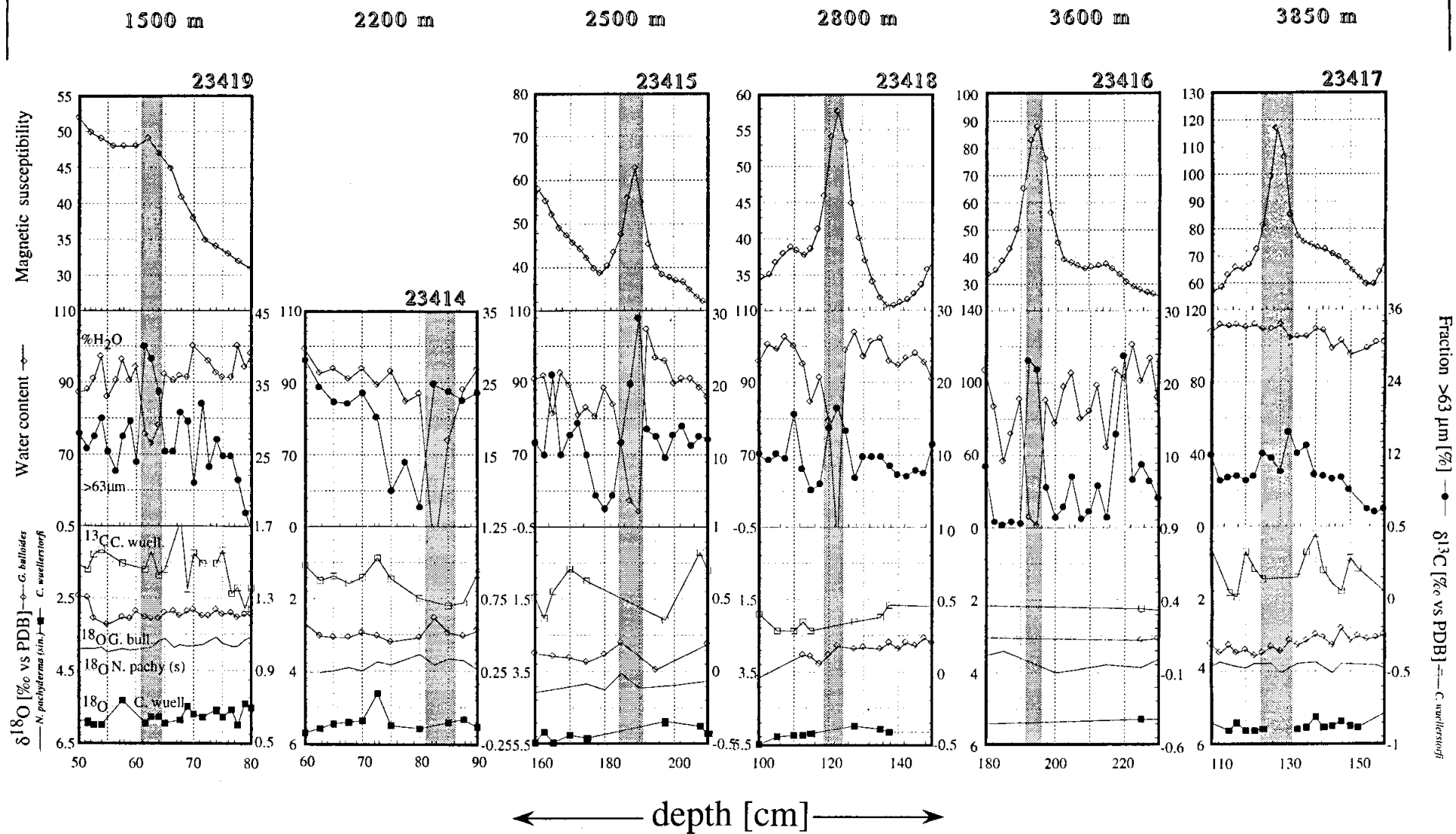
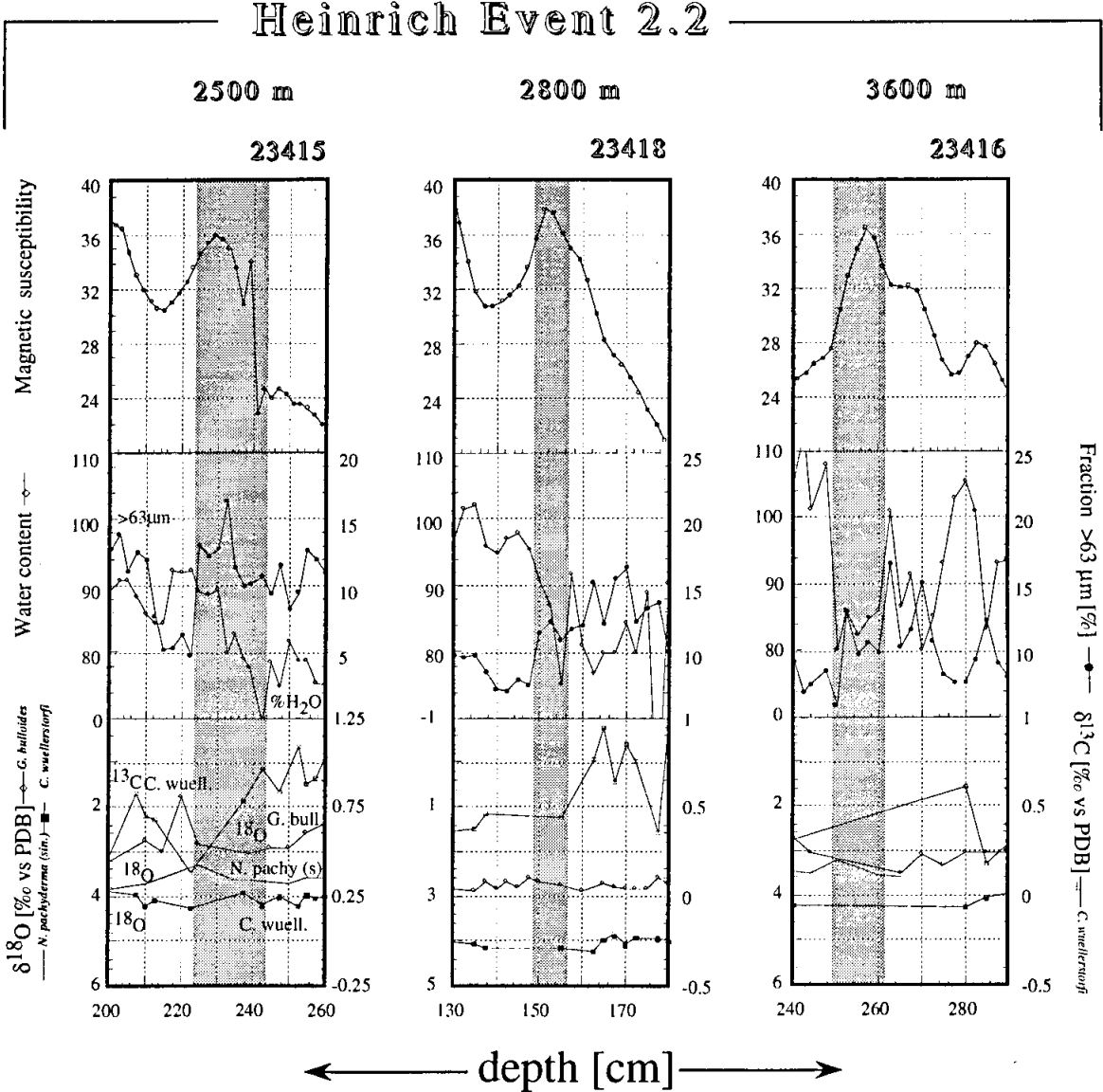
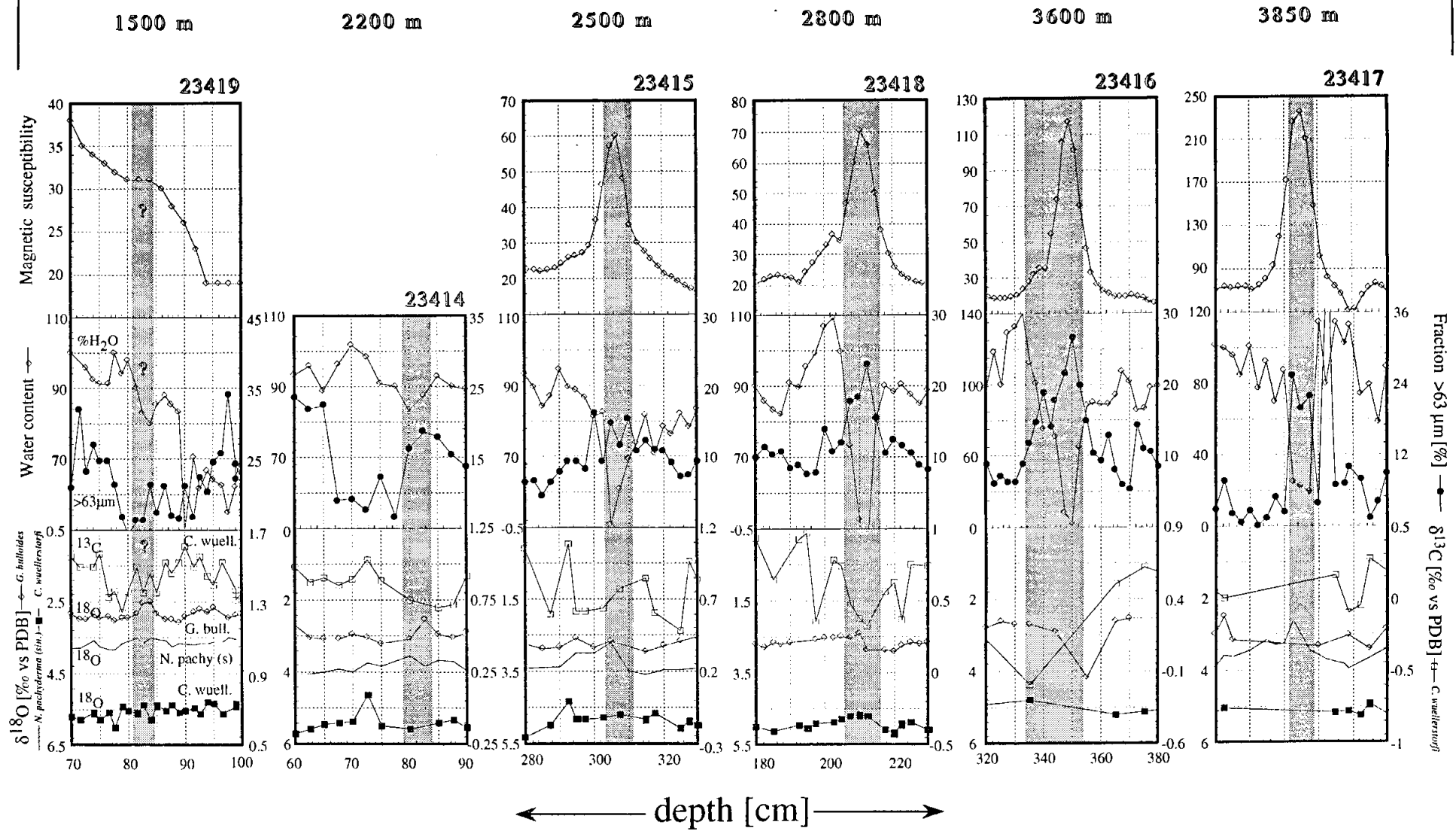


Abb. 6 Fortsetzung/ Fig. 6 continued

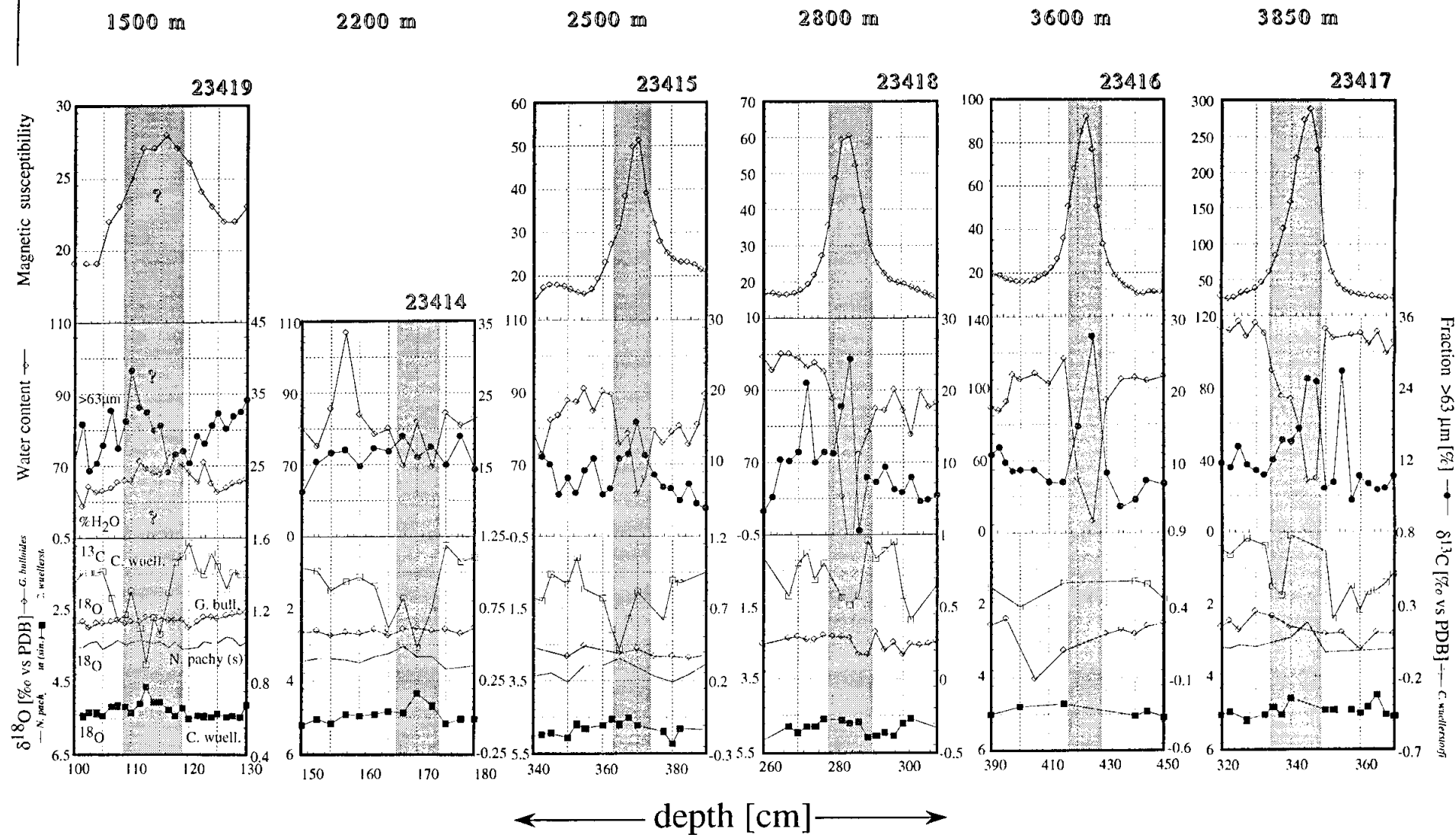


## Heinrich Event 3

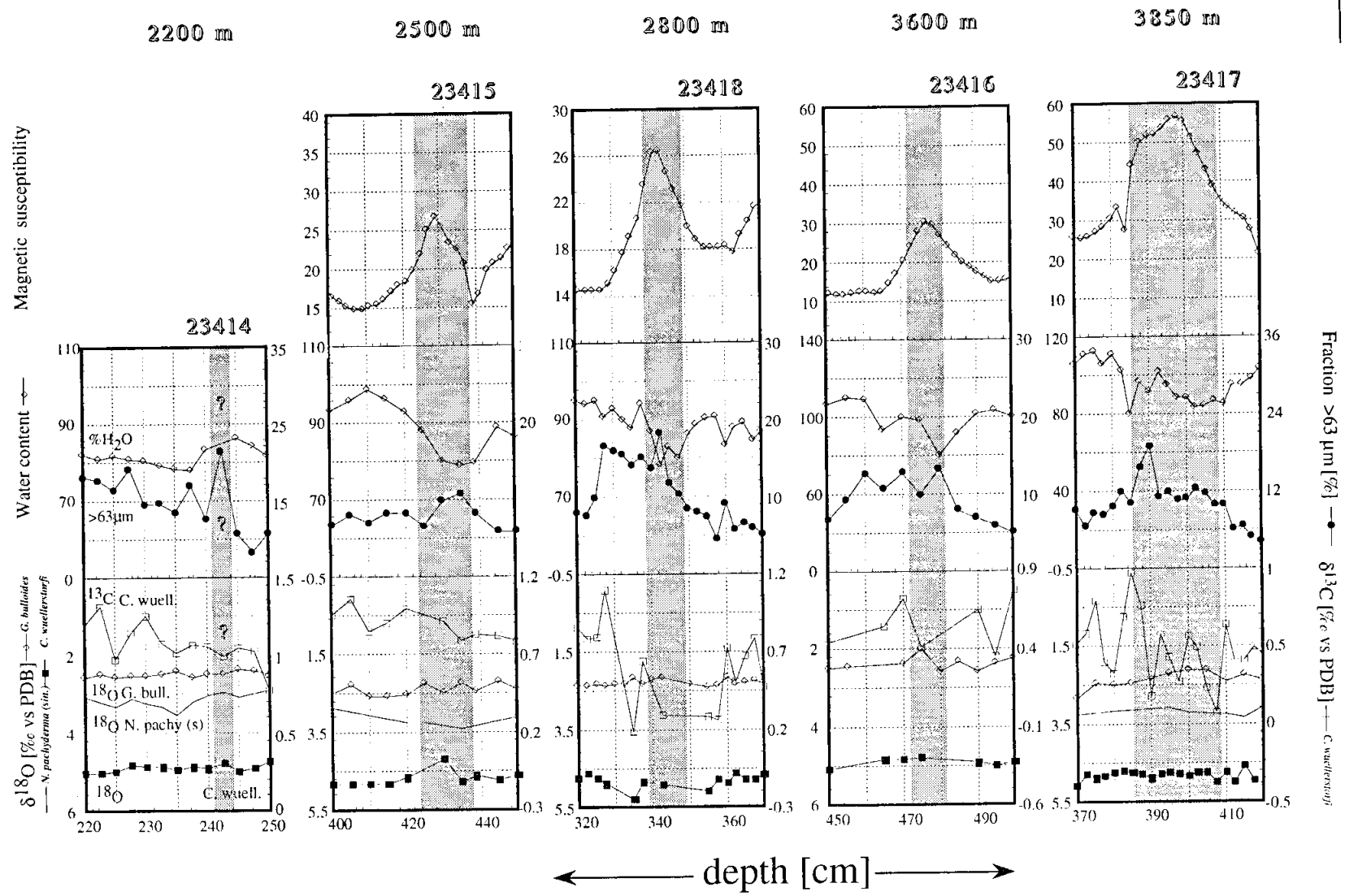




## Heinrich Event 4

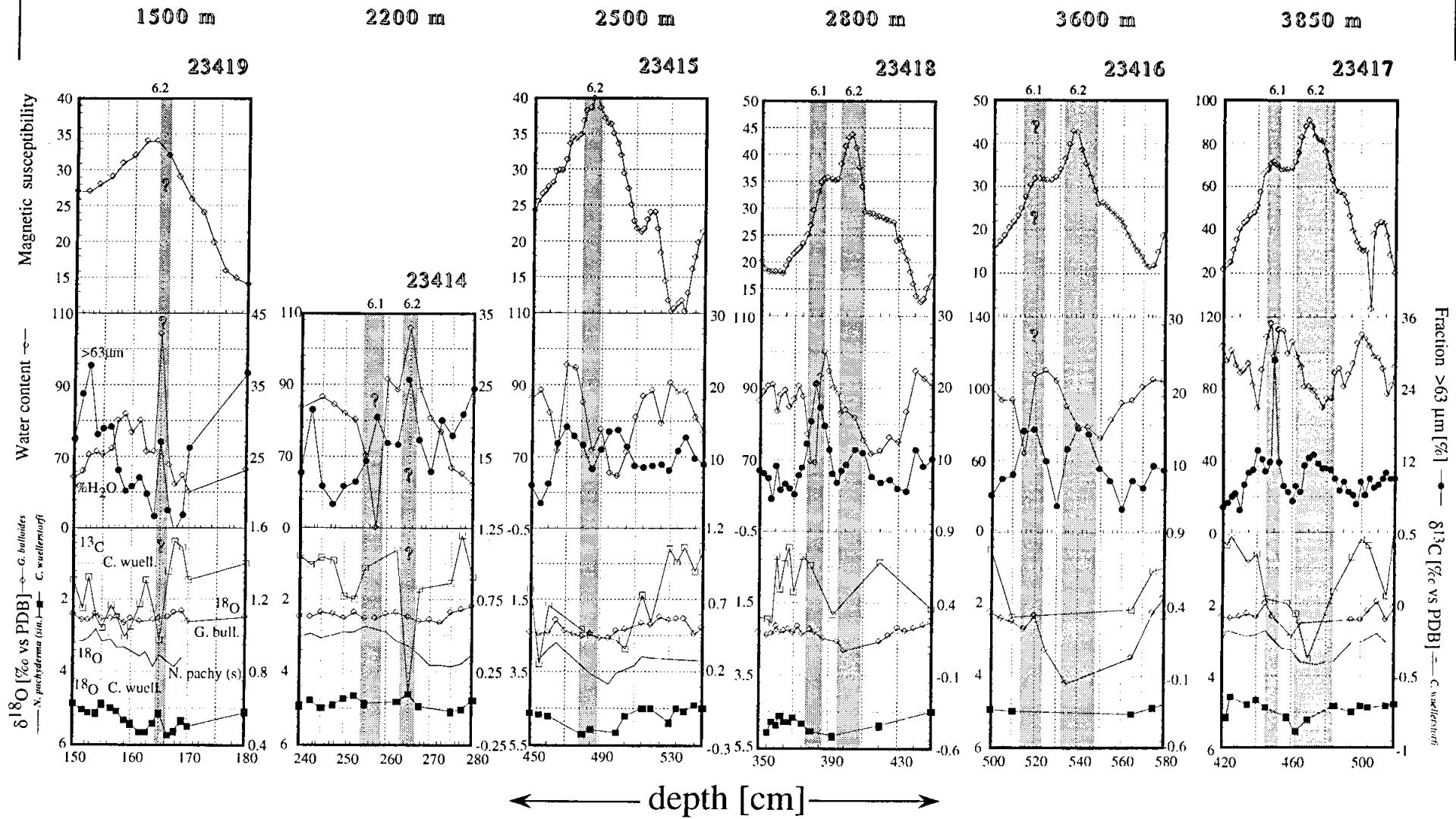


## Heinrich Event 5



# Heinrich Events 6.1/6.2

Abb. 6 Fortsetzung/ Fig. 6 continued



#### 4.4. Sedimentationsraten und zeitliche Auflösung der Isotopenkurven

Die Sedimentationsrate schwankt in den für diese Arbeit neu analysierten Sedimentkernen zwischen ca. 1,3 und 28 cm/ka (vgl. Tab. 5). Im günstigen Fall wurde eine rechnerische Zeitauflösung von 2,5 cm gleich weniger als 200 Jahren, im ungünstigen Fall von 1,3-2,5 cm gleich mehr als 750 Jahren in den eng beprobten Sektionen erreicht (vgl. Tab. 5). In den übrigen Kernprofilen verteilen sich die Sedimentationsraten zwischen 1,5 und mehr als 27 cm/ka. Die Probenabstände liegen in den eng beprobten Sektion bei 1-2,5 cm und 5-10 cm in den übrigen Sektionen.

Die Geschichte der Sedimentationsgeschwindigkeit ist während der letzten 80 000 Jahre vereinfachend dreigeteilt. Hierbei unterscheiden sich grundsätzlich die Kerne vom Rockall Plateau und aus den Sedimentdrift-Körpern wie folgt (Tab. 5):

Am Rockall Plateau reichen die Sedimentationsraten im Stadium 4 von 1,5 cm/ka bis 4,4 cm/ka. In den anschließenden Stadien 3 und 2 steigen sie z.T. auf mehr als 15 cm/ka. Ab Termination I fällt die Sedimentationsrate auf 2,5-7 cm/ka. Generell steigen die Sedimentationsraten südlich der Kernstation 23414, also unterhalb von 2200 m Wassertiefe an. Die hohen bis extrem hohen (bis zu >15 cm/ka) Sedimentationsraten während der Stadien 2 und 3 gehen wohl auf den in diesen Zeitabschnitten durchwegs vorhandenen, z.T. katastrophenartig erhöhten Eintrag von eistransportierten Material zurück (McCave, 1995).

In den Kernstationen aus der Gardar- (Kernstationen 17050 und 17051) und Hatton-Drift (Kern 17049) werden im Holozän hohe Sedimentationsraten von mehr als 10 cm/ka, im Extremfall sogar mehr als 28 cm/ka (vgl. Tabelle 5 Kern 17050) erreicht. In den Kaltstadien 2 und 3 ging die Sedimentationsrate auf 7-10 cm/ka zurück. In Termination I wurden Raten von 6,3 bis 11,8 cm/ka erreicht. Vor mehr als 80 Ka waren die Sedimentationsraten in allen Teilgebieten niedriger, ein Befund, der vermutlich auch auf die zunehmende Kompaktion des Sedimentes zurückgeht.

**Tabelle 5. Sedimentationsraten und zeitliche Auflösung**

[illegible]

## 5. $\delta^{18}\text{O}/\delta^{13}\text{C}$ -Zeitreihen der letzten 250.000 Jahre

### 5.1. Termination I und Holozän

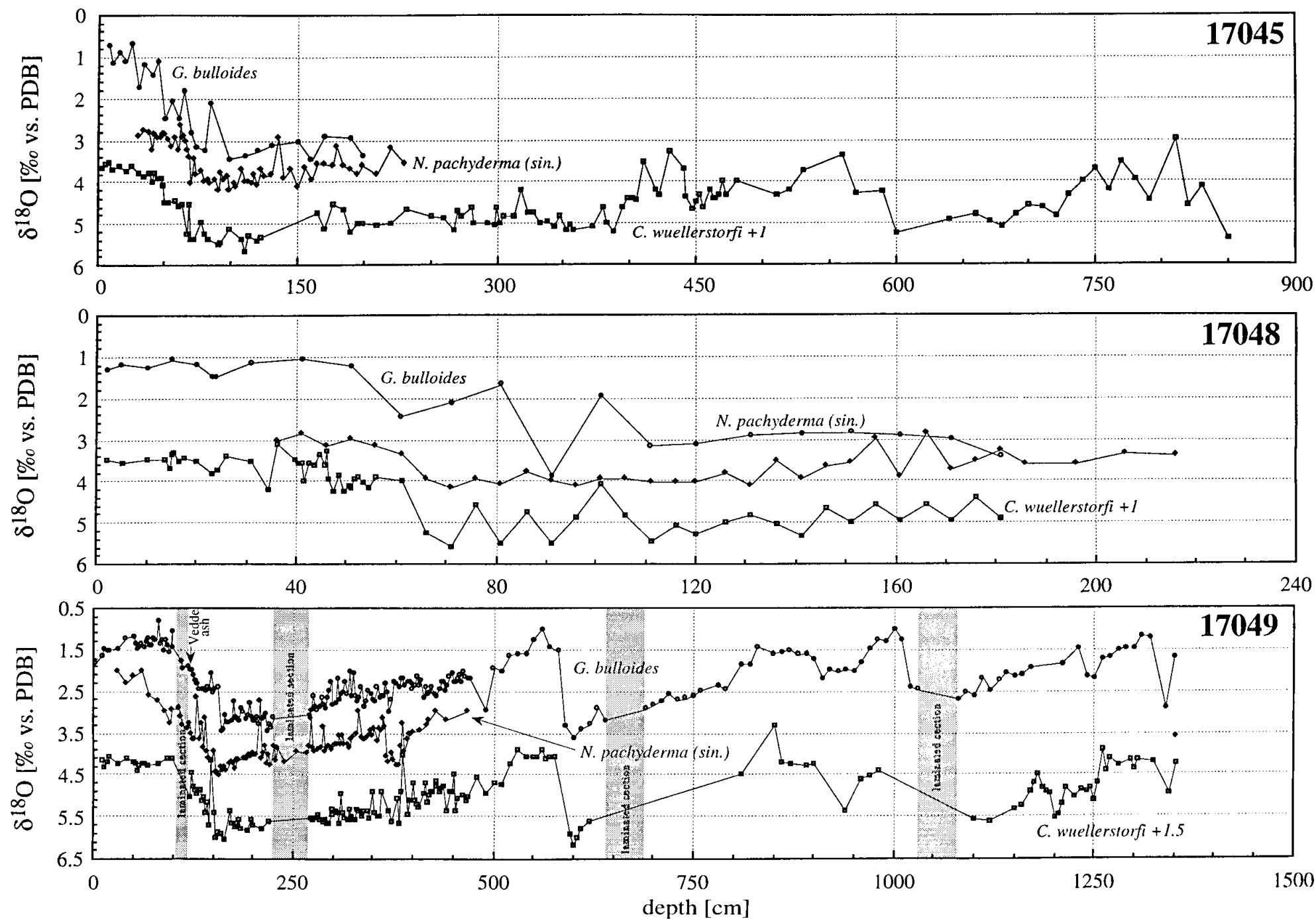
Duplessy *et al.* (1988b) gliederten den Übergang vom letzten Glazial zum Holozän in zwei Stufen "a" und "b", Mix & Ruddiman (1985) fügten eine Stufe "c" vor 8 000 bis 6 000 Jahren hinzu, die allerdings in der Literatur kaum bestätigt wurde und hier somit nicht weiter verfolgt wird.

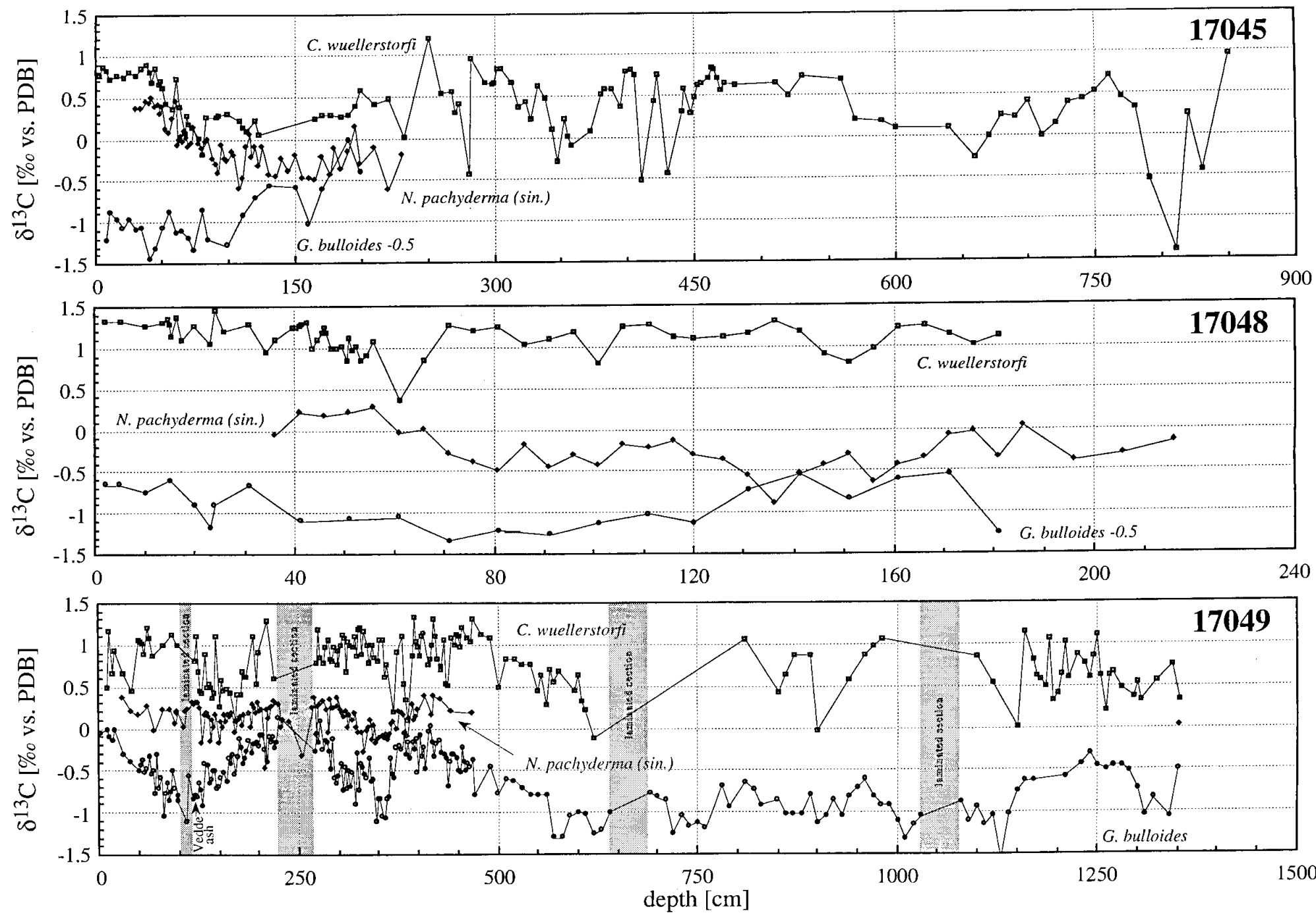
Auch in den hier neu vorgestellten benthischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Profilen von *C. wuellerstorfi* ist die Termination I in zwei Stufen (a und b) untergliedert, deren  $\delta^{18}\text{O}$ -Hub sich in etwa auf die beiden Teilschritte gleich verteilt (Abb. 7 und 8). Ausgehend von einem spätglazialen benthischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Niveau von 4,5-4,7 ‰ - noch nicht auf das Niveau von *Uvigerina* korrigiert - beträgt der Gesamthub für die Termination ca. 1,6 ‰ in Sedimentkern 23415 und 17051 aus 2200-2500 m Wassertiefe, ca. 2,1 ‰ in Kern 17048 aus 1800 m Wassertiefe und 2,3 ‰ in Kern 23419 aus 1500m Wassertiefe. Im Holozän bleiben die benthischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte in etwa konstant zwischen 2,2 und 3 ‰. Ausgenommen ist Sedimentkern SO82-5, wo die obersten Werte bei 26 und 32 cm Teufe für das Holozän unerklärterweise wieder auf extrem schwere Werte von annähernd 4 ‰ sinken (Abb. 8), möglicherweise als eine Folge von Sedimenttransport.

Kern 17051 (Abb. 7 und 8) zeigt die Termination Ia im benthischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Signal in zwei Schritten bei 210-195 cm und bei 185-175 cm (bei einer Zeitauflösung von 2,5 cm gleich 120 Jahre). Möglicherweise entsprechen die beiden  $\delta^{18}\text{O}$ -Maxima von 4 ‰ bei 185 cm und 3,8/3,6 ‰ bei 150-142,5 cm (Abb. 7 und 8) der Ältesten und Jüngeren Dryas. Ihre interpolierten Kalenderalter betragen 16,6 ka und 13,1 -12,4 ka sind also vielleicht etwas zu alt. Bei der Jüngeren Dryas zeigt sich mit 6 Meßpunkten ein doppeltes "Kältetal" mit einer Gesamtdauer von 1500 Jahren. Die Jüngere Dryas bildet in den  $\delta^{18}\text{O}$ -Profilen vom Rockall Plateau so wie im Atlantik generell (Sarthein *et al.*, 1994) das Ende eines O-Isotopenplateaus bei ca. 3,4-3,55 ‰, bei Kern 23414 wird ihre Position durch die Vedde-Aschenlage bei 45 cm bestätigt (Locker, mdl. Mitteilung).

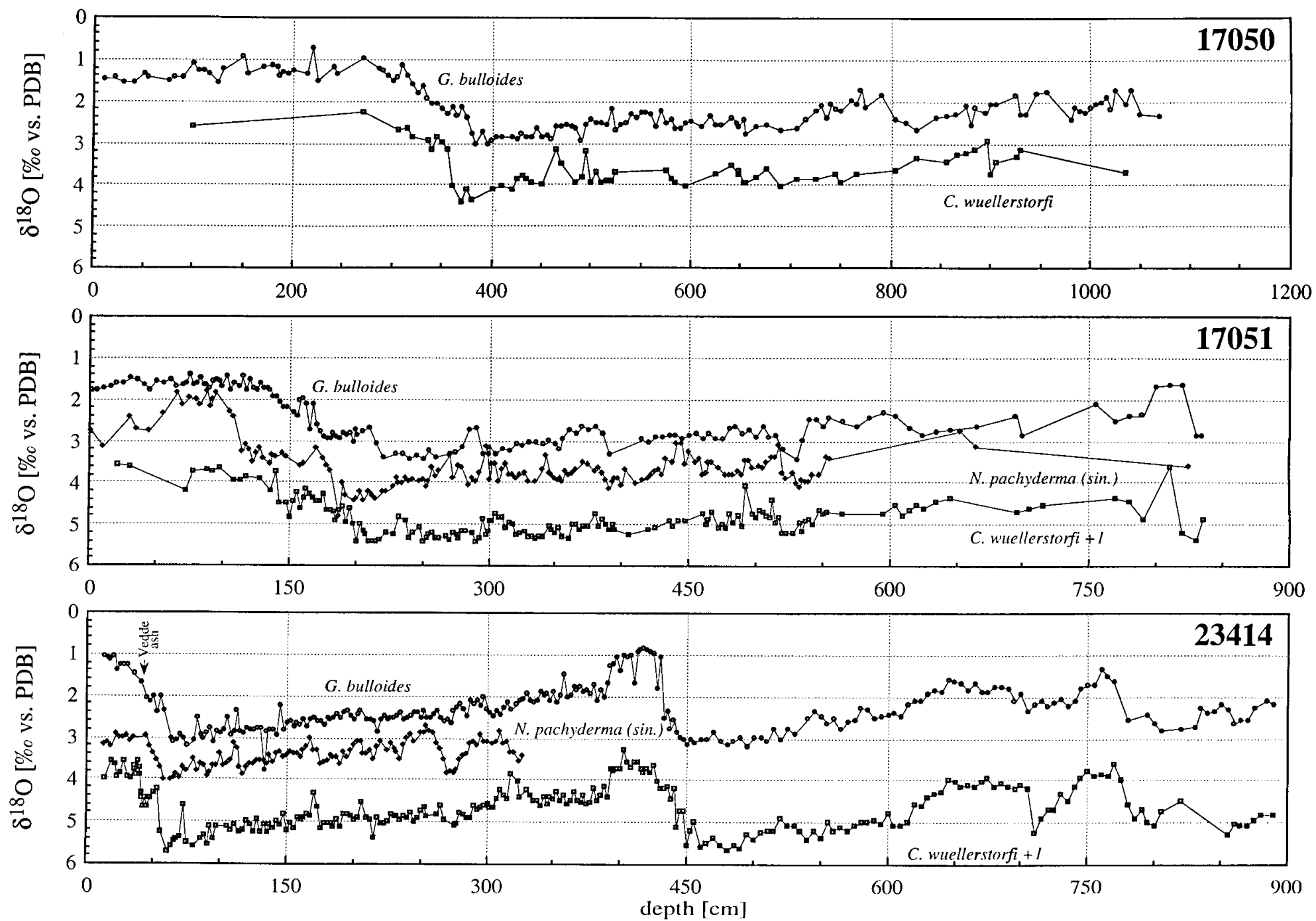
Abb. 7. Neu analysierte  $\delta^{18}\text{O}/\delta^{13}\text{C}$ -Kurven von *N. pachyderma* (sin.), *G. bulloides* und *C. wuellerstorfi* aus 12 Sedimentkernen, dargestellt gegen Kernteufe. Isotopendaten von Kern 17045 und 17048 teilweise aus Winn *et al.* (1991), *G. bulloides*-Daten von Kern SO 82-5 aus Gehrke *et al.* (eingereicht).

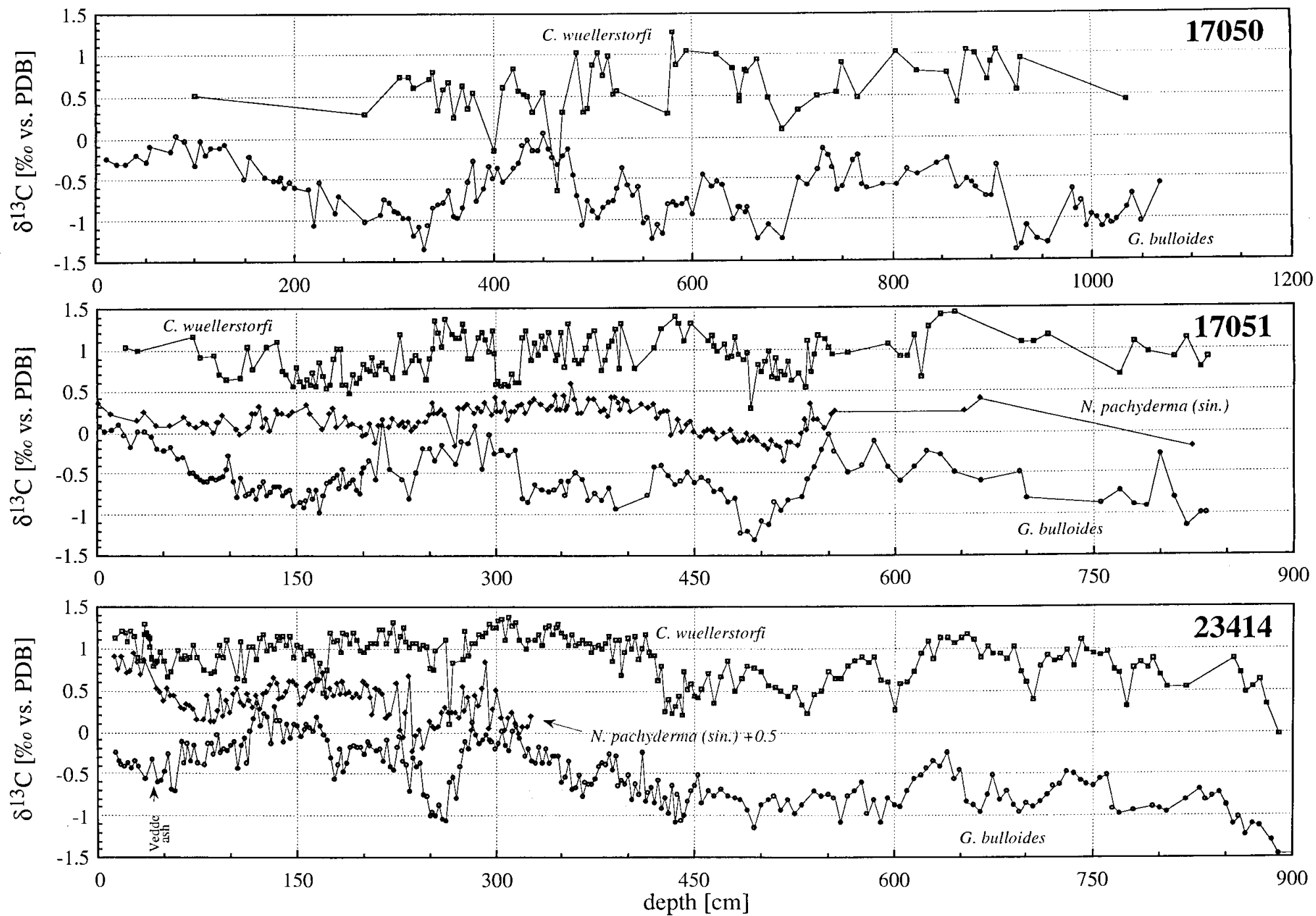
Fig. 7. Complete  $\delta^{18}\text{O}$ - and  $\delta^{13}\text{C}$ -records of *N. pachyderma* (sin.), *G. bulloides* und *C. wuellerstorfi* in 12 sediment cores analyzed in this thesis, plotted vs. core depth. Isotope data of core 17045 and 17048 partly from Winn *et al.* (1991), *G. bulloides* data from core SO 82-5 from Gehrke *et al.* (submitted).

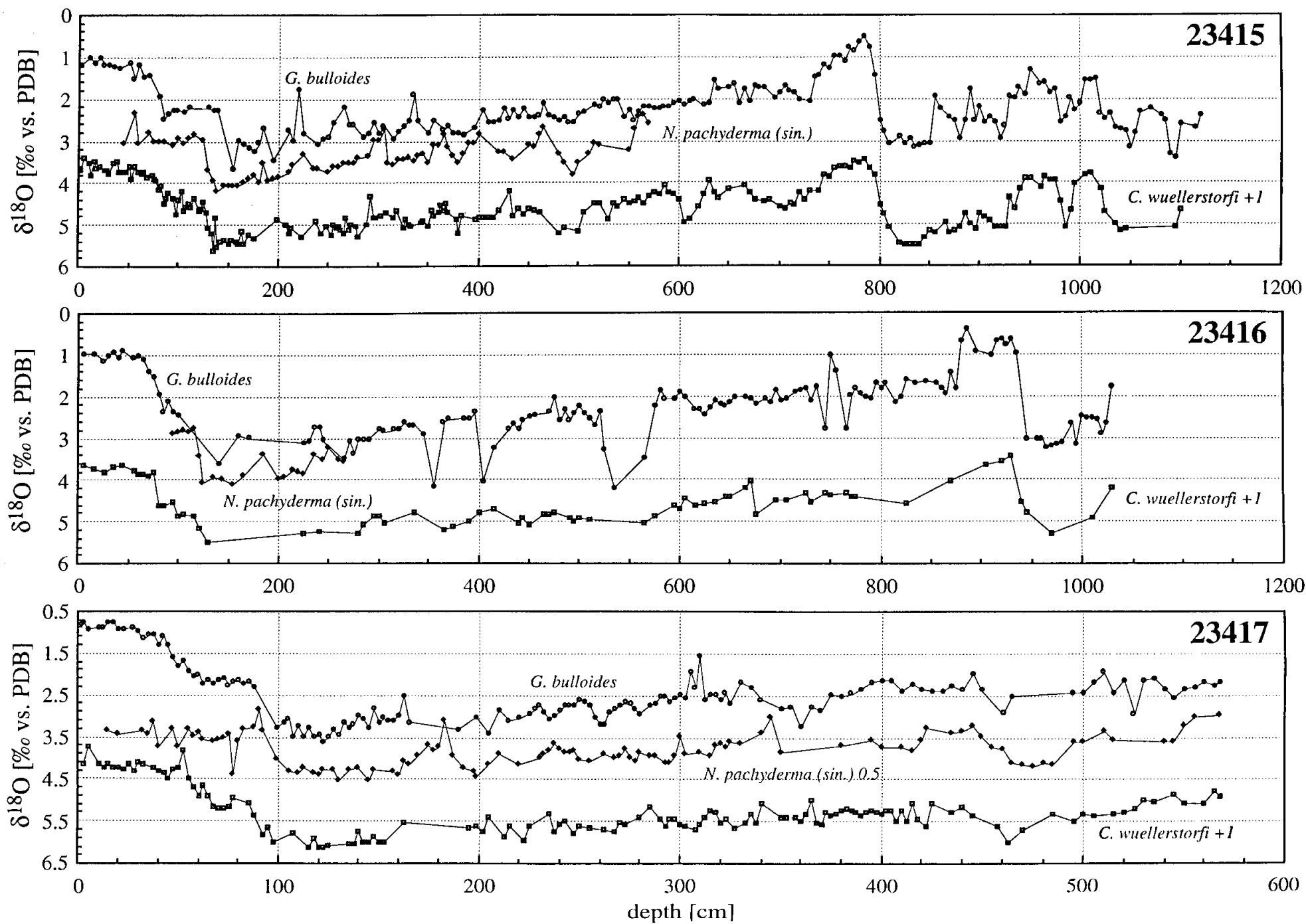


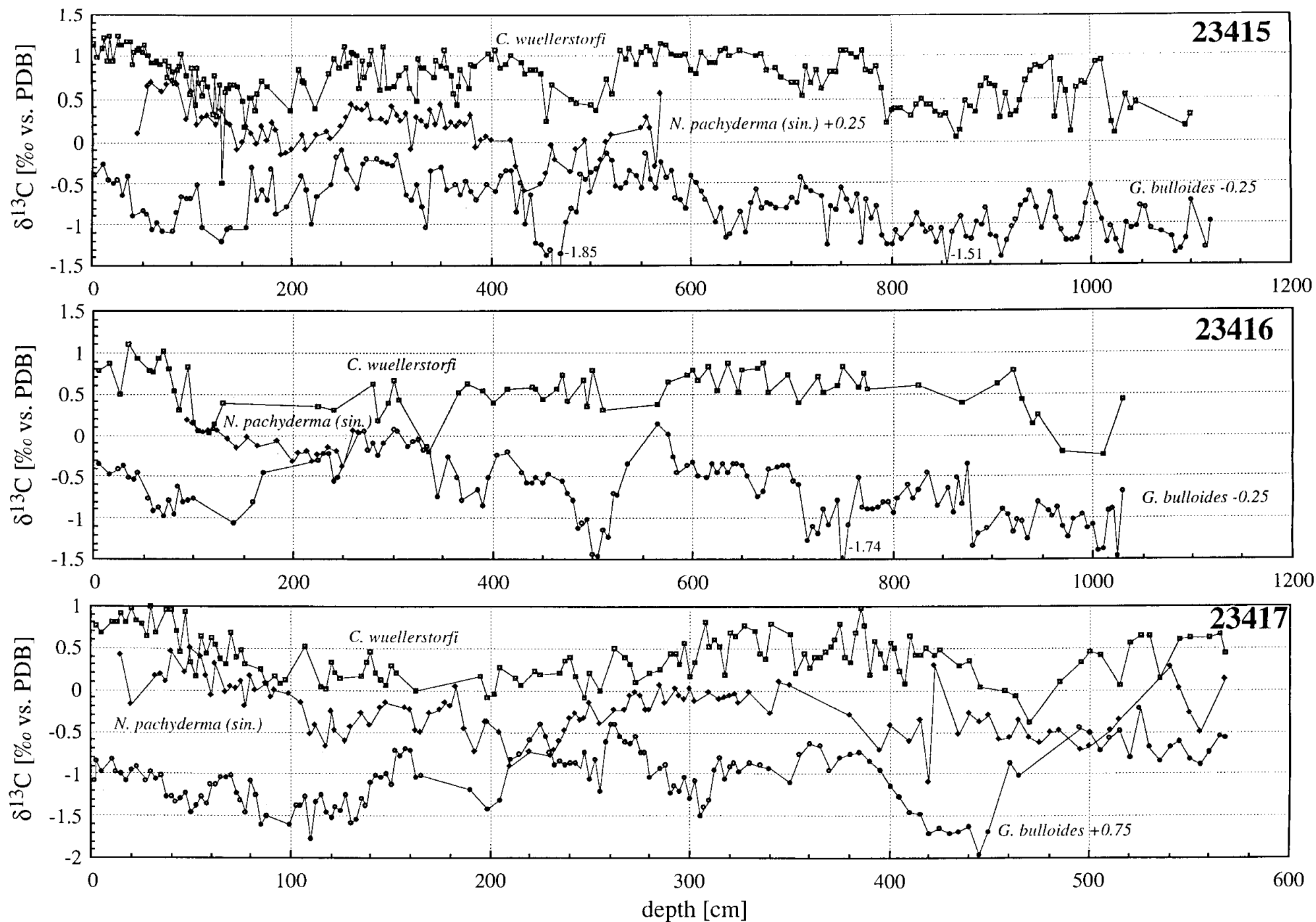


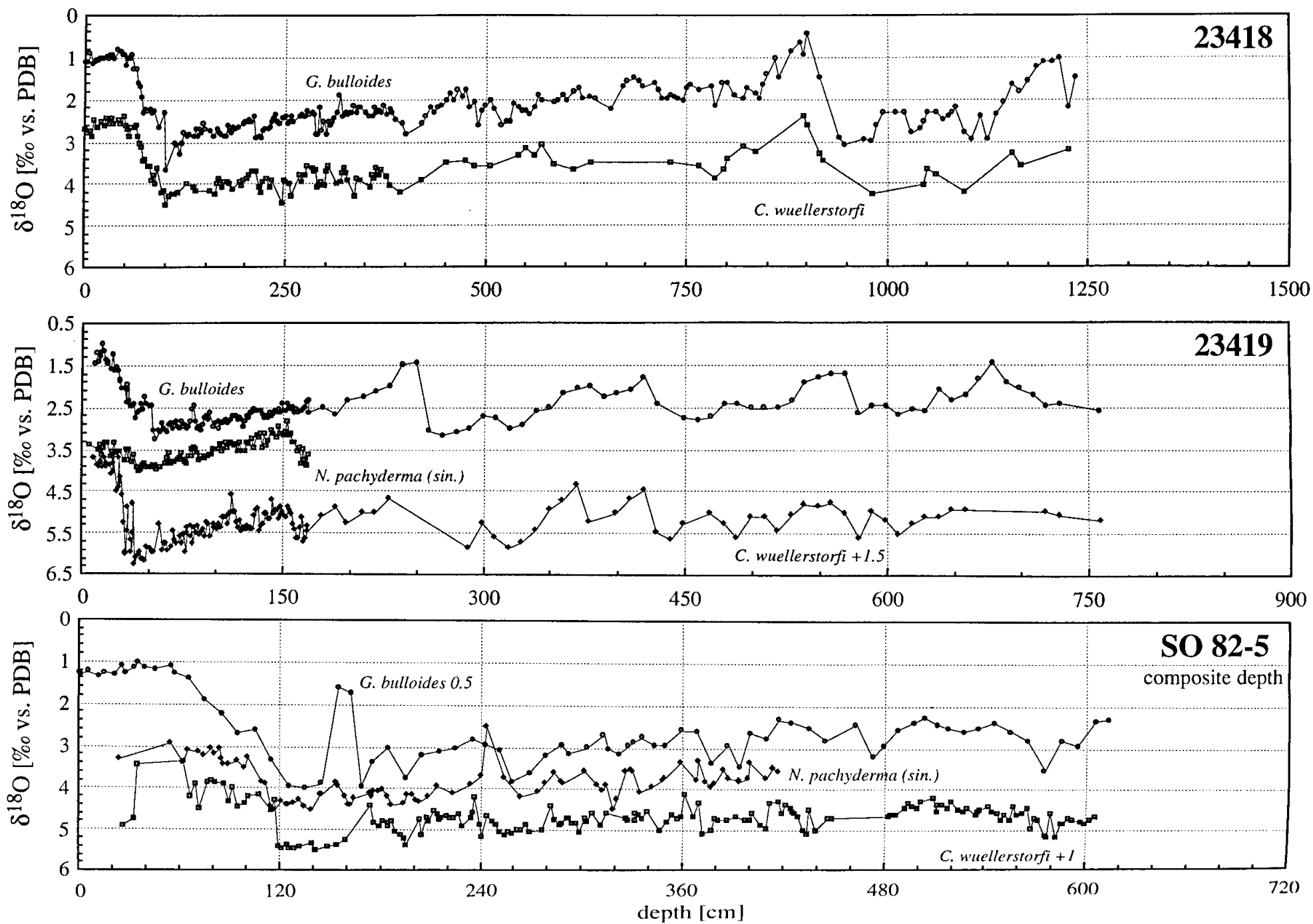


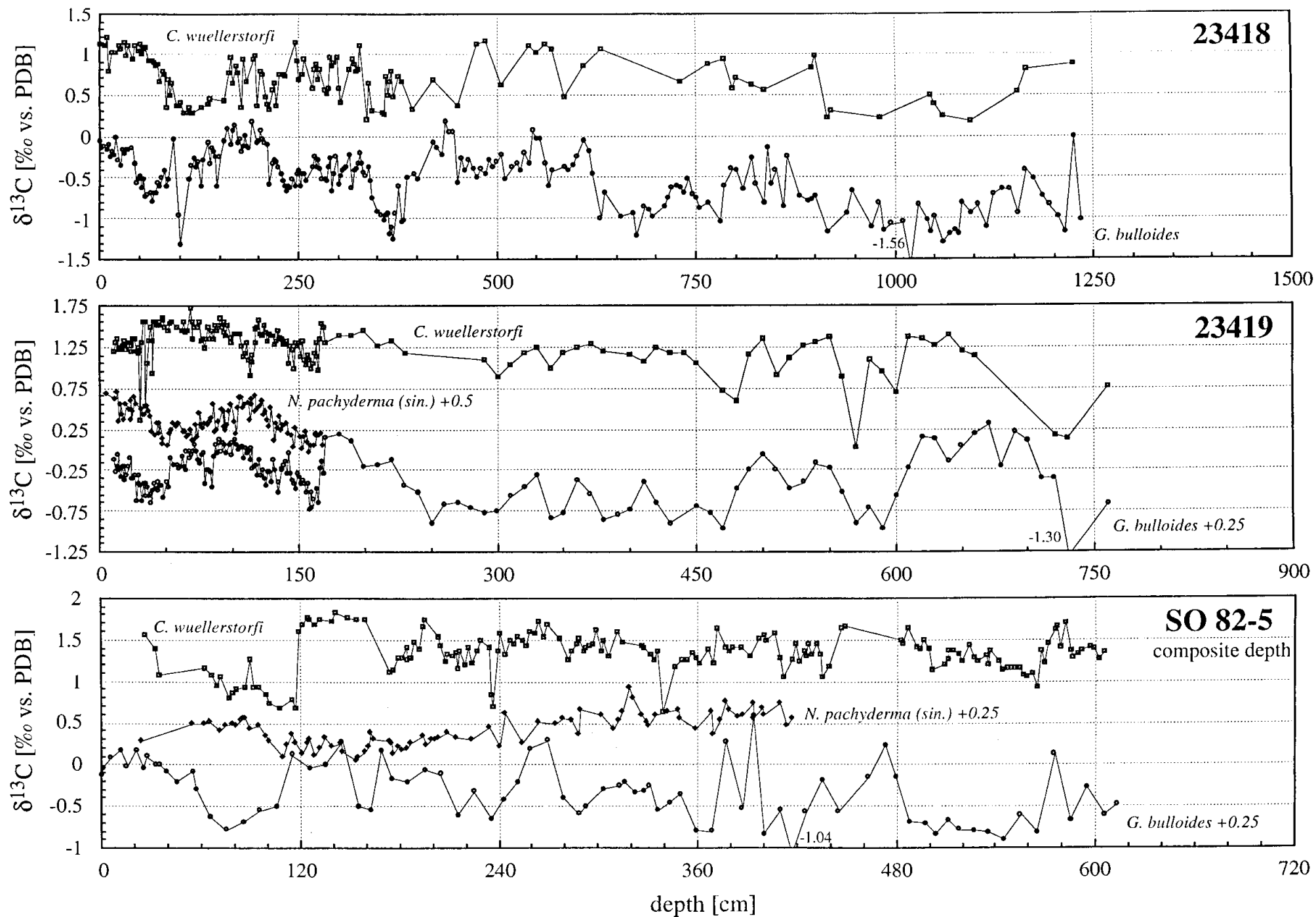












In den  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *N. pachyderma* (sin.) ist die Termination schlecht dokumentiert, ausgenommen die Kerne 17051 und 17049 (Abb. 7 und 8), wo sie fast vollständig aufgezeichnet ist. Der  $\delta^{18}\text{O}$ -Gesamthub in Termination I ( $>2,5\text{‰}$ ) verteilt sich in etwa gleich auf die Unterschritte a und b zwischen  $4,3\text{--}4,5\text{‰}$  im Glazial und  $1,8\text{--}2,0\text{‰}$  im späteren Holozän und übersteigt damit den Eiseffekt von ca.  $1,25\text{‰}$  (Fairbanks, 1989) um mehr als  $1,2\text{‰}$ . Besonders bei Termination Ib erscheint das  $\delta^{18}\text{O}$ -Signal von *N. pachyderma* (sin.) im Vergleich zur benthischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve zum Jüngeren hin verwühlt. Im Spätholozän, zwischen ca. 5 und 3 ka, nehmen die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *N. pachyderma* (sin.) im Sedimentkern 17051 wiederum unerklärbar sprunghaft um gut  $1\text{‰}$  auf  $2,8\text{--}2,9\text{‰}$  zu, vielleicht eine Folge von Sedimentumlagerung hier in der Gardar Drift.

An den übrigen Kernstationen ist die Termination in den  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *N. pachyderma* (sin.) nur unvollständig abgebildet. Besonders kraß ist dies in "Flachwasserkern" 23419 (Abb. 8). Hier fehlt die übliche drastische Abnahme der Absolutwerte vollständig. Höchstwahrscheinlich wurde *N. pachyderma* (sin.) überwiegend aus dem Glazial bis in das Holozän hinaufgewühlt oder umgelagert. Nach Süden hin verringert sich dieser Wühl- oder Umlagerungs-Effekt, vermutlich zu einem Teil die Folge der zum Tiefen hin ansteigenden Sedimentationsrate, die die Klimasignale bei beschränktem Bioturbationshub deutlicher dokumentiert (Trauth, 1995). Bei Kern 23414, 23415 und 23417 ist der erste Deglaziationsschritt noch in etwa vollständig dokumentiert. Die Isotopenwerte nehmen um bis zu  $1,5\text{‰}$  in der Termination Ia ab (Abb. 8, Kern 23417), was den Eiseffekt (ca.  $0,6\text{‰}$ , Fairbanks, 1989) um ca.  $0,9\text{‰}$  erheblich übersteigt.

In Kern 17049 ist schließlich auch die Jüngere Dryas durch ein  $\delta^{18}\text{O}$ -Maximum bei ca. 120-125 cm Teufe markiert, wo zugleich ein Maximum an Aschenpartikeln auftritt. Auf diese Weise wird ein AMS14C-Alter von 10 150 J.v.h.. unmittelbar im Hangenden der Jüngeren Dryas bestätigt (Kap. 4.2).

In den  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *G. bulloides* erscheint die Termination I relativ zu den übrigen  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven im Profil bioturbat nach unten verwühlt (im Extrem bei Kern 23419 um 25 cm; vgl. Abb.7). Der Gesamthub in der Termination I beträgt bis zu  $2,6\text{‰}$  am Rockall Plateau und  $2,0\text{‰}$  am Reykjanes Rücken und verteilt sich wieder in etwa gleich auf die beiden Unterschritte a und b. In Sedimentkern 17051 ist die Termination in drei Schritte untergliedert, ähnlich wie bei der benthischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve.

## 5.2. Sauerstoffisotopenstadium 2

In den  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *C. wuellerstorfi* gliedert sich das Stadium 2 im gesamten Arbeitsgebiet in einen älteren Teil mit leichten und einen jüngeren Teil mit schweren  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten. Im jüngeren Teil liegt das LGM (18-15 14C ka; Sarnthein *et al.*, in press), das durch die schwersten  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte gekennzeichnet ist. Als höchste Absolutbeträge wurden mehr als  $4,7\text{‰}$  im Kern 23419 (entspr.  $5,35\text{‰}$  für das Gleichgewicht mit Tiefenwasser) aus 1500m Wassertiefe gemessen (vgl. Abb.8; Kern 23419). Mit zunehmender Wassertiefe nehmen die  $\delta^{18}\text{O}$ -Maximalwerte im LGM gegen alle Erwartung leicht ab. Im frühen Stadium 2 sind die benthischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte um  $0,1\text{--}0,5\text{‰}$  leichter als im LGM, wahrscheinlich eine Folge des um ca.  $0,4\text{‰}$  geringeren Eiseffektes (Vogelsang, 1990).

Schwache benthische  $\delta^{18}\text{O}$ -Minimumspitzen liegen bei ca. 22 ka bis 26 ka (Ausnahme Kerne 23416, 23417, 17045), die vermutlich mit Heinrich-Ereignis 2.1 und 2.2 verknüpft sind. Die höchsten Amplituden von  $\Delta\text{-}1,6\text{‰}$

(Rockall Plateau) und nahezu  $\Delta -1 \text{‰}$  (Reykjanes Rücken) (vgl. Abb. 7 und 8, Kerne 17048: 270 cm und SO82-5: 177,5 cm) finden sich in Kernen aus geringer Wassertiefe. In BOFS-Kern 17K fehlt ein derartiges  $\delta^{18}\text{O}$ -Minimum, wohl aufgrund der geringen Beprobungsdichte in dieser Sektion.

Die LGM-Maxima in den planktischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *N. pachyderma* (sin.) liegen am Rockall Plateau bei  $4.2 \text{‰}$  im Kern 23415 ( $53^\circ 10' \text{ N}$ ) und nehmen bemerkenswerterweise sowohl nach N wie nach S ab, nach Westen zu und erreichen bei Kern SO82-5  $4.5 \text{‰}$  (vgl. Keigwin & Boyle, 1989a, und Sarinthein *et al.*, in press). Im Frühglazial sind die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im allgemeinen um ca.  $0.2\text{--}0.7 \text{‰}$  niedriger als im eigentlichen LGM (Ausnahme Kern 23417 im Süden und SO82-5 im NW), wohl wiederum wegen des etwas geringeren Eiseffektes.

In den  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *N. pachyderma* (sin.) vom Rockall-Plateau (Sedimentkerne 23414, 23415 und 23416) wurde ein kurzfristiges Minimum von max.  $0.6 \text{‰}$   $\Delta\delta^{18}\text{O}$  auf ca. 24–25 ka datiert (vgl. Abb. 8, Kern 23416). Vermutlich ist es an Heinrich Ereignis 2.1 geknüpft (vgl. auch Abb. 5, 6, 7, 8). Das  $\delta^{18}\text{O}$ -Minimum bei ca. 25–27 ka im Sedimentkern 23419 (Abb. 6 und 8) kann dem Heinrich-Ereignis 2.2 möglicherweise zugeordnet werden, desgleichen in Kern 23415 und 23416 (bis  $\Delta -0.8 \text{‰}$ ).

In Kern SO82-5 (Abb. 7 und 8) liegt je ein Minimum mit einem Hub von  $-0.5 \text{‰}$  bei 154 cm gleich ca. 22–24 ka entsprechend Heinrich Ereignis 2.1 und bei 164–184 cm gleich 24–26 ka, vermutlich parallel zu Heinrich Ereignis 2.2.

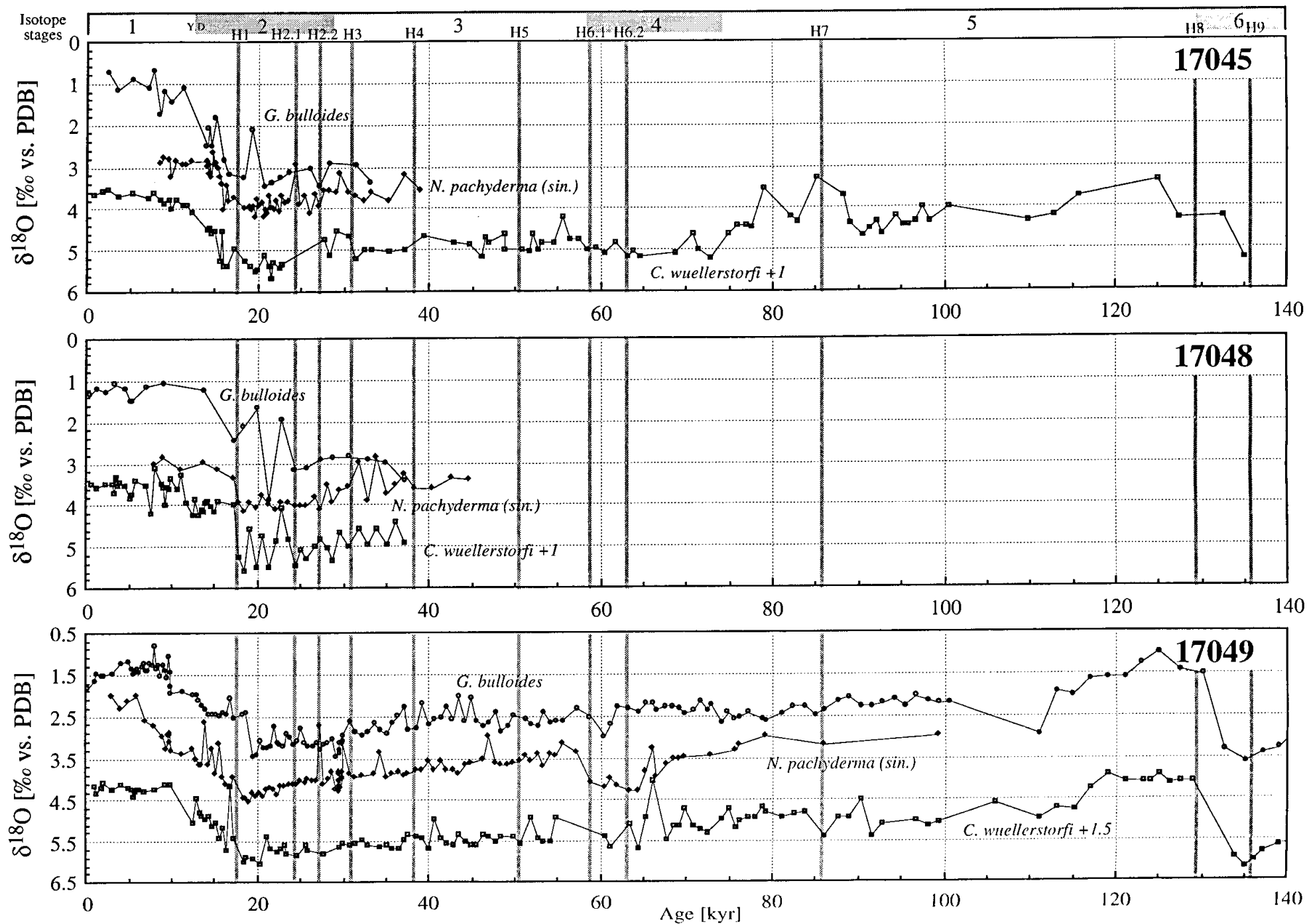
Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *G. bulloides* erreichen im LGM maximal  $3.6 \text{‰}$  d.h. sie sind nahezu  $1 \text{‰}$  leichter als die von *N. pachyderma* (sin.). Diese Differenz spiegelt wohl Unterschiede in den bevorzugten Lebensräumen. Der W-E- $\delta^{18}\text{O}$ -Gradient in den *N. pachyderma* (sin.)-Werten ist bei *G. bulloides* nicht aufgezeichnet, wo die LGM-Werte einheitlich bei  $3.2\text{--}3.5 \text{‰}$  liegen.

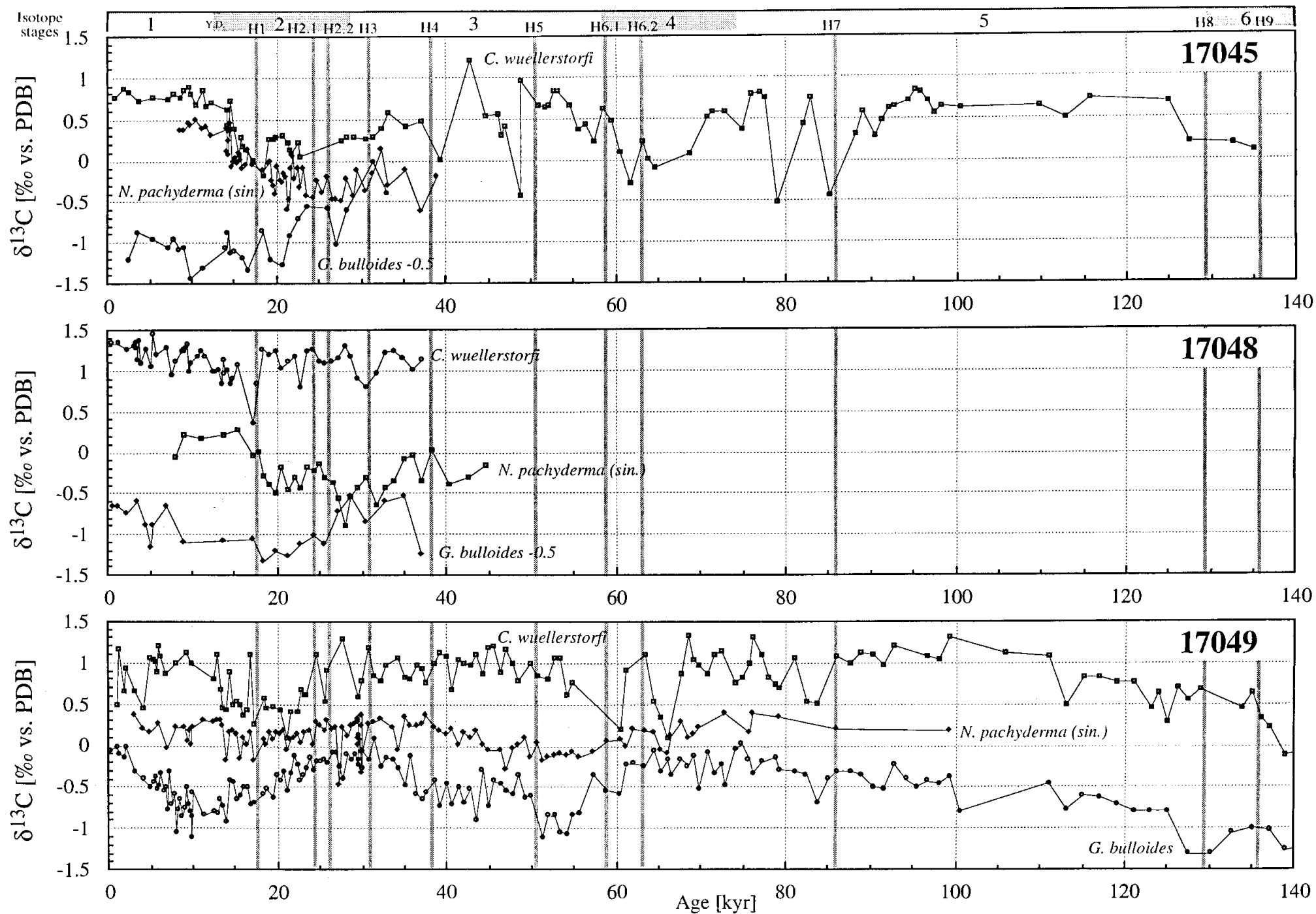
### 5.3. Sauerstoffisotopenstadium 3

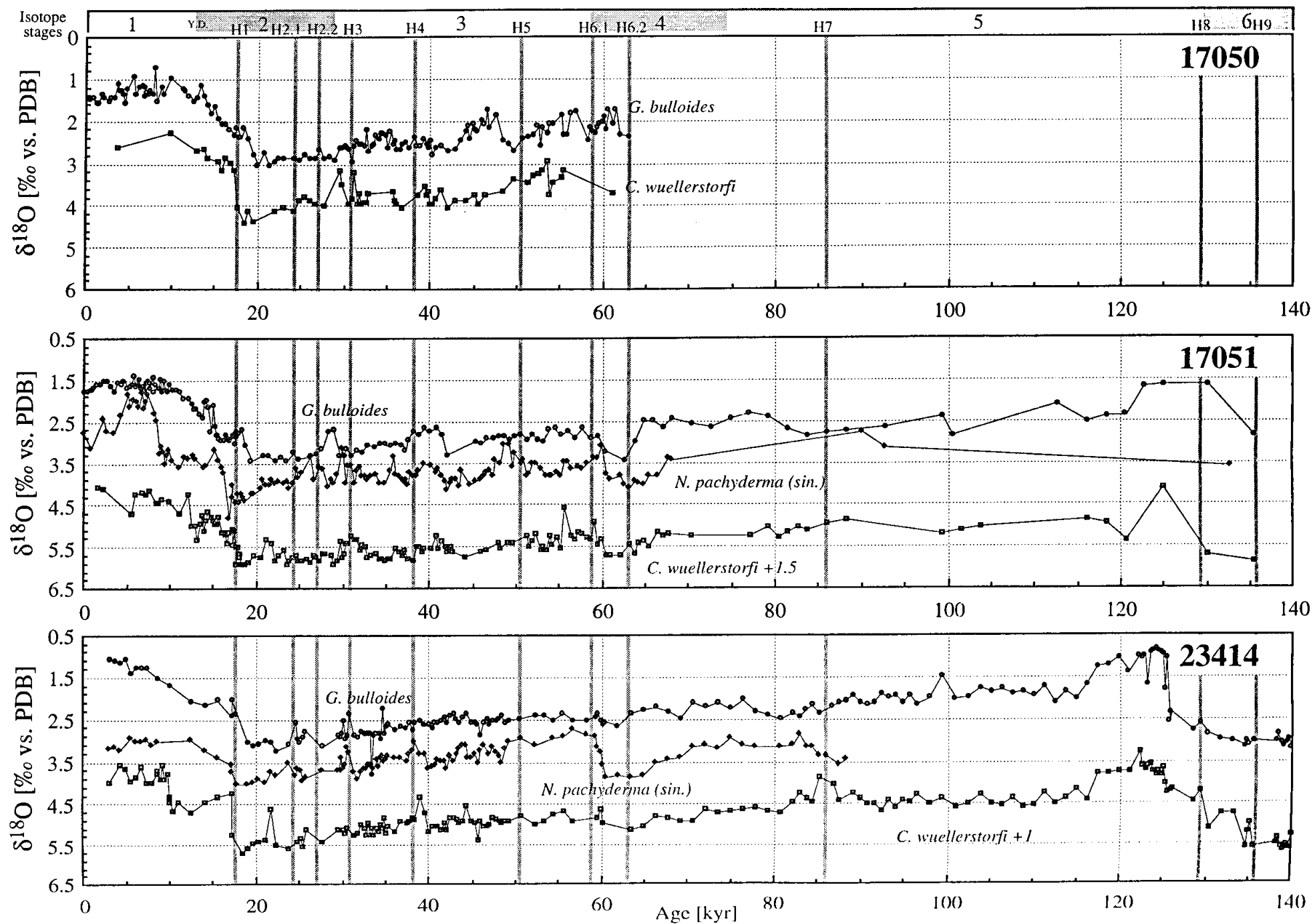
Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *C. wuellerstorfi* reichen in O-Isotopenstadium 3 von  $4.2\text{--}4.3 \text{‰}$  bis  $3.2 \text{‰}$ , mit den höchsten Werten am Ende dieses Intervalls. Bei ca. 45 ka überlagert den generellen Kurvenverlauf in Sedimentkernen aus geringen Wassertiefen (>2200m, Kerne 23419, 23414 und SO82-5) ein kurzfristiges Minimum (max.  $0.8 \text{‰}$   $\Delta\delta^{18}\text{O}$ ) vielleicht im Zusammenhang mit Heinrich Ereignis 5 (Abb. 8).

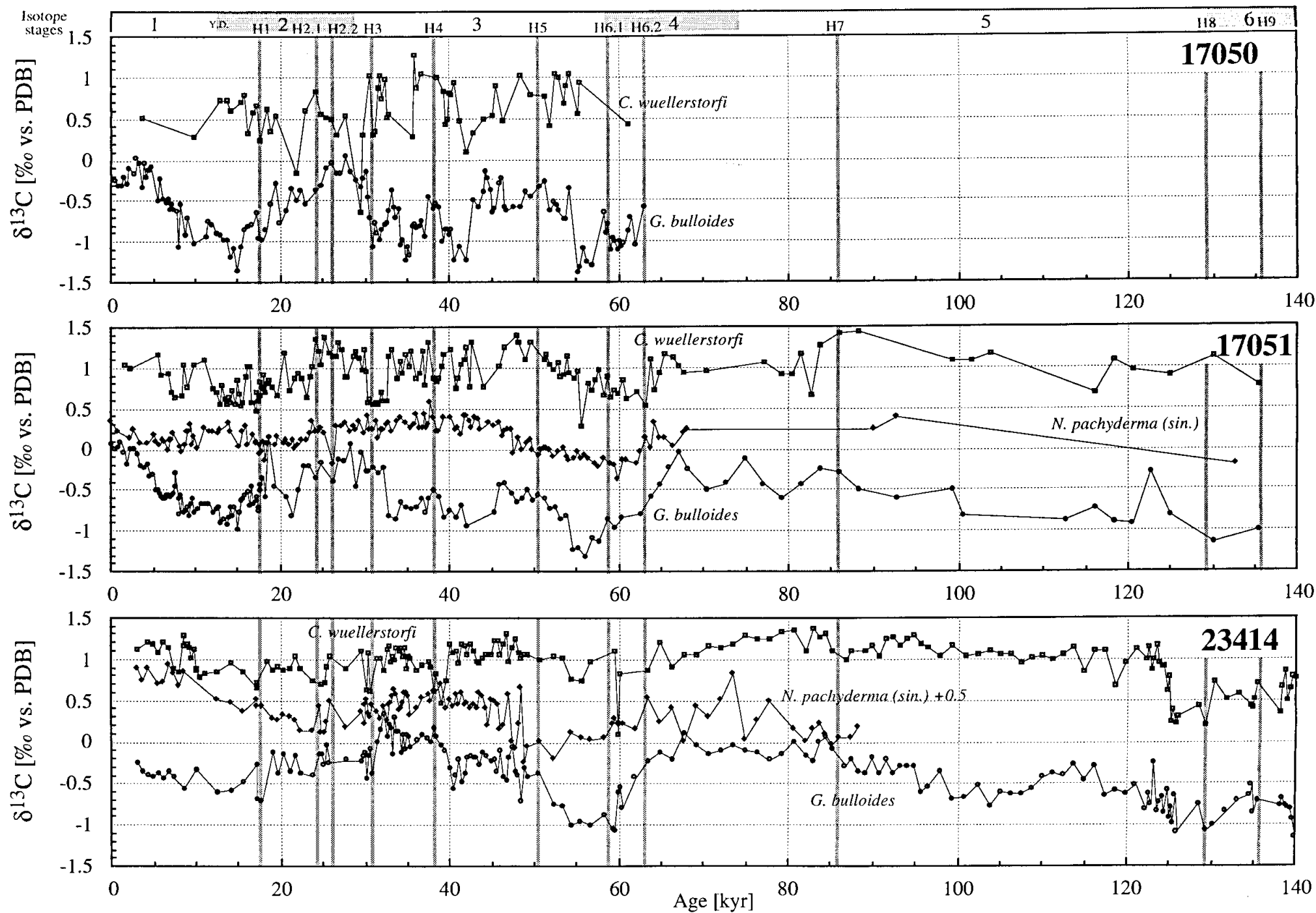
Abb. 8. Gleicher Datensatz wie in Abb. 7, dargestellt gegen Kernalter: Heinrich Lagen geschummert.  
Fig. 8. Same data as in Fig. 7 plotted vs. age: Heinrich layers are shaded.

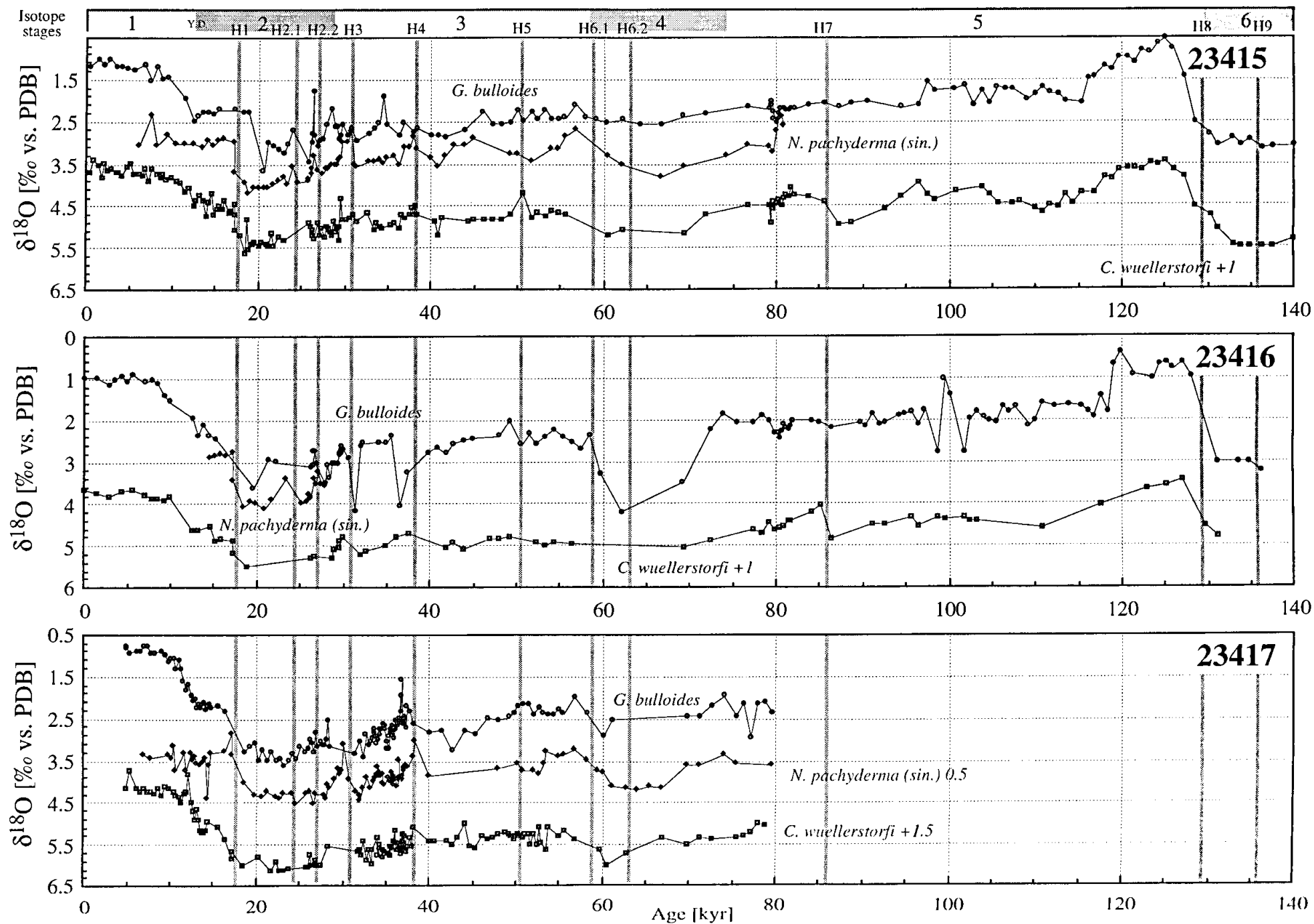


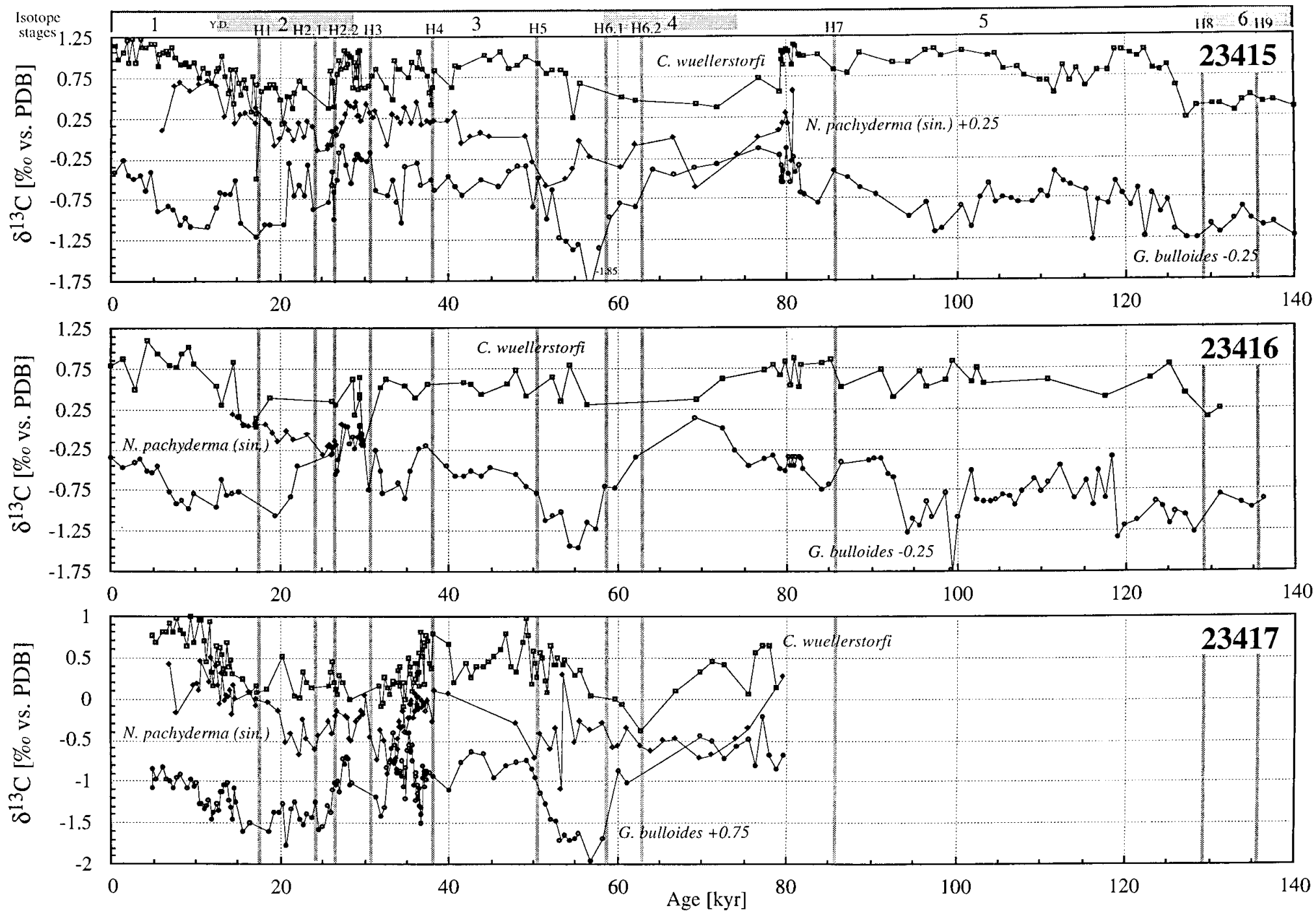


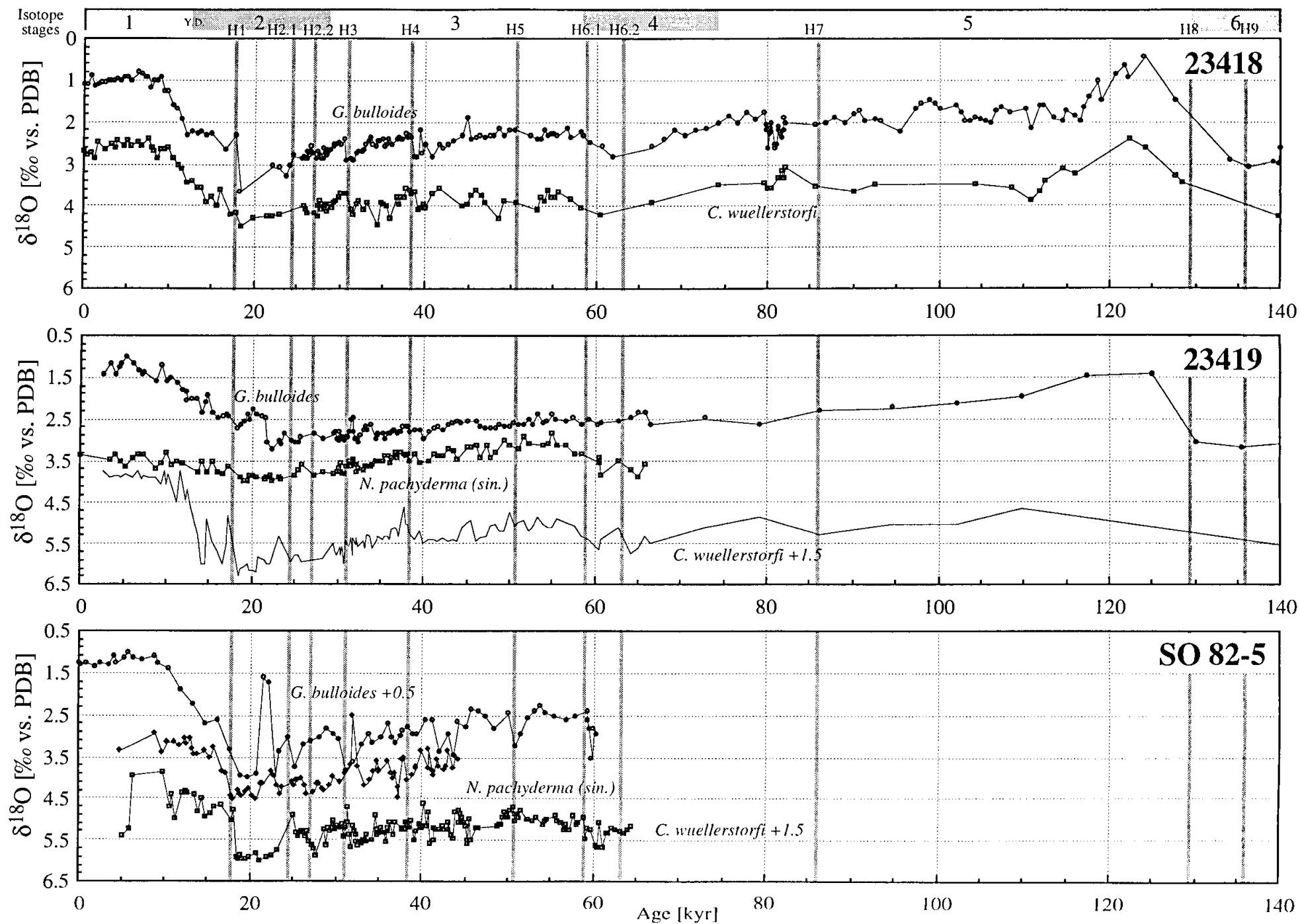


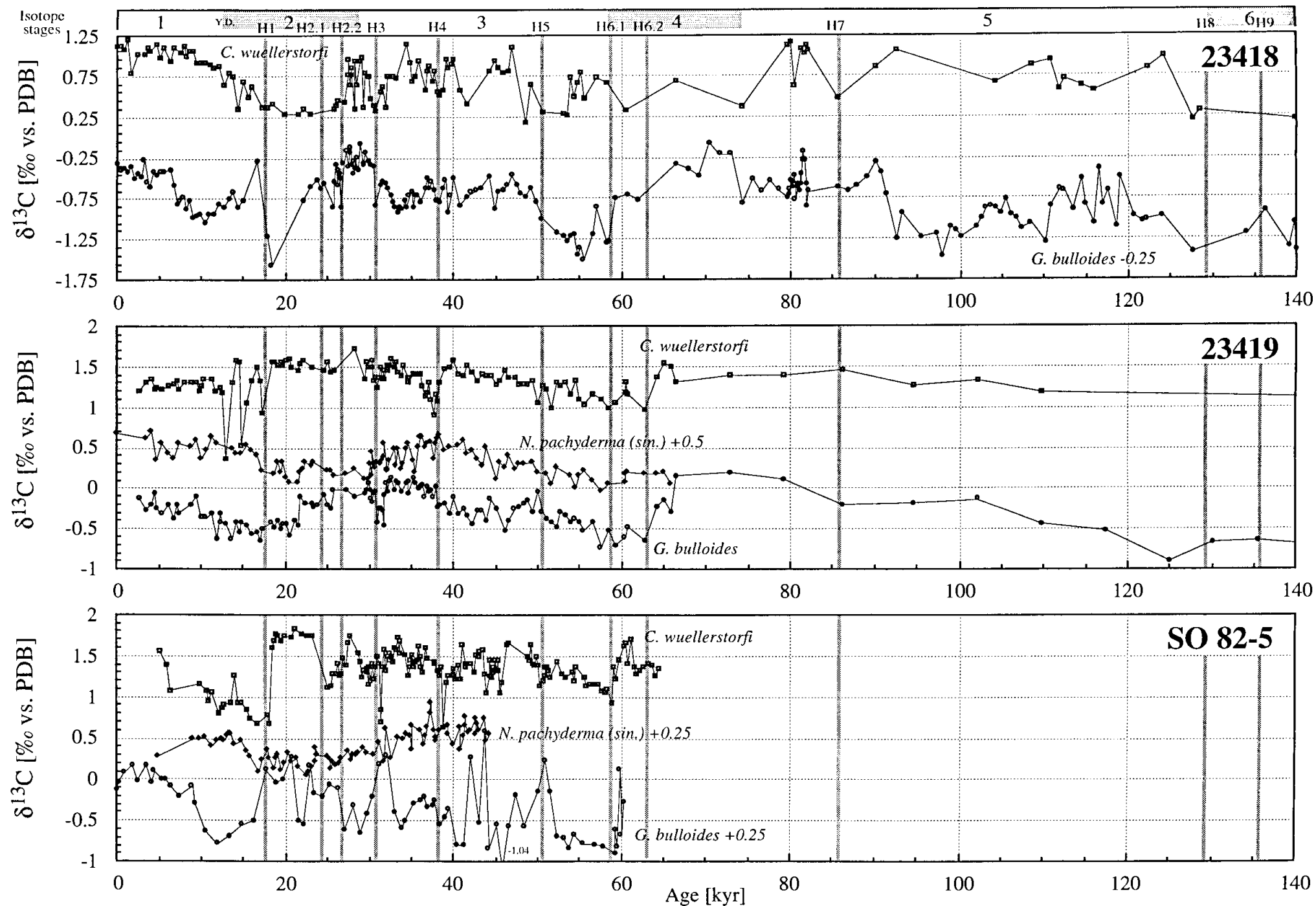














Am oberen Rockall Plateau ist an das Heinrich-Ereignis 4 ein weiteres kurzfristiges markantes  $\delta^{18}\text{O}$ -Minimum von *C. wuellerstorfi* geknüpft (Kernstationen 23419, 23414 und 23415), mit  $\Delta 0,8\text{--}0,9\text{‰}$  am deutlichsten bei Flachwasserkern 23419 in 1500 m Wassertiefe und mit zunehmender Wassertiefe allmählich verschwindend. In Sedimentkern SO 82-5 liegen weitere  $\delta^{18}\text{O}$ -Minima bei 244 und 361 cm (Abb. 7 und 8) gleich ca. 32 ka und ca. 40 ka (Abb. 7 und 8), die vermutlich an die Heinrich Ereignisse 3 und 4 geknüpft sind, obwohl die interpolierten Altersschätzwerte von denen am Rockall Plateau leicht abweichen (vgl. Kap. 4.3).

In Kern 17051 (2300 m Wassertiefe) wird in den  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *C. wuellerstorfi* schon im späten Stadium 3 mehrfach annähernd das LGM-Maximal-Niveau erreicht. Dies bedeutet, daß hier - eiseffektkorrigiert - die Bodenwassertemperaturen zu dieser Zeit extrem niedrig waren, möglicherweise nahe dem Gefrierpunkt (ca.  $-1,7^\circ\text{C}$ ).

Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *N. pachyderma* (sin.) reichen im längerfristigen Durchschnitt (im Gegensatz zu den Einzelspitzen) im Stadium 3 von 4,5 bis auf 2,5 ‰. Wie in O-Isotopenstadium 2 sind die Maximalwerte am Rockall-Plateau generell leichter (maximal 3,9 ‰ bei Kern 23414) als weiter westlich, besonders deutlich bei der westlichsten Kernstation SO82-5, wo (bei ca. 37 ka) kurzfristig 4,5 ‰ dem LGM-Niveau entsprechen und - eiseffektkorrigiert - wiederum von extremer Kälte zeugen, kälter als im LGM (Abb. 8). Umgekehrt könnten die niedrigeren Werte am Rockall Plateau niedrigere Salzgehalte widerspiegeln.

Kurzfristige Minima liegen in den  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *N. pachyderma* (sin.) bei ca. 30-31 ka (Heinrich Ereignis = HE 3; z.T. doppelgipfelig), 38-39 ka (HE 4), ca. 45 ka (z.T. doppelgipfelig) und 55 ka (Abb. 8). Die Hübe der  $\delta^{18}\text{O}$ -Minima reichen von 0,2-0,3 bis mehr als 0,8 ‰ in Kern 23417 und nehmen nach Süden hin zu.

Heinrich-Ereignis 5 erscheint in den  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *N. pachyderma* (sin.) schlecht differenziert (vgl. Abb. 8); auch in den Wassergehalts- und Magnetischen Suszeptibilitätskurven ist HE 5 im Vergleich zu den anderen Heinrich-Lagen deutlich schwächer abgebildet (vgl. Abb. 5 und 6).

Die Abfolge der Minima in den  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *N. pachyderma* (sin.) ist in den westlichen Kernstationen komplizierter. Hier liegen starke  $\delta^{18}\text{O}$ -Minimumspitzen in Kern SO82-5 bei ca. 32-33 ka (?HE3), 34,5-35,5ka, ca. 37 ka (HE 4?), 40 ka und 43-44 ka sowie in Kern 17051 bei ca. 30-32 ka (dreigipfelig; HE 3?), ca. 36 ka, 39-40ka (HE4), ca. 48 ka (HE 5) und bei Stadium 3.33 (ca. 55 ka).

Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *G. bulloides* reichen von mehr als 4,3 ‰ (im Kern SO82-5) bis auf minimale 1,6 ‰ (Kern 23417; vgl. Abb. 8). Etwa wie bei *N. pachyderma* (sin.) sind die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Westen um ca. 0,3-0,5 ‰ höher als am Rockall Plateau. Wiederum werden die höchsten  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im späten Stadium 3 erreicht. Einige  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *G. bulloides* sind in einer Wechselfolge von kurzfristigen  $\delta^{18}\text{O}$ - Minima und Maxima stark untergliedert (besonders deutlich in den Kernen 23415, 23416 und 23417). Im Gegensatz zu *N. pachyderma* (sin.) sind bei *G. bulloides* die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte während der Heinrich-Ereignisse allgemein erhöht (z.B. Abb. 8). Niedrige  $\delta^{18}\text{O}$ - Werte liegen hingegen in den Zeiträumen zwischen den IRD- Maxima, wahrscheinlich eine Folge der bioturbaten Vermischung von oben und unten.

## 5.4. Sauerstoffisotopenstadium 4

Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *C. wuellerstorfi* erreichen im Stadium 4 mit 4,4 ‰ annähernd LGM Niveau (z.B. bei Kern 23417). Innerhalb von Stadium 4 findet sich je ein  $\delta^{18}\text{O}$ -Minimum in den Sedimentkernen 23419 ( $\Delta -0.5\text{‰}$ ) und 17049 ( $\Delta -1,2\text{‰}$ ) bei ca. 63 ka und 66 ka (Abb. 8).

Auch die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *N. pachyderma* (sin.) erreichen mit 4,3 ‰ annähernd LGM-Niveau. Kurzzeitige  $\delta^{18}\text{O}$ -Minima in den Sedimentkernen 23419 und 17049 zeichnen die Minima der benthischen O-Isotopenkurve nach. Dieser vermutliche Schmelzwasserstoß fällt im Kern 23419 mit dem Heinrich Ereignis 6.2 zusammen. Für die Kernstation 17049 kann dieser Bezug nur vermutet werden. Der Übergang in das Stadium 3 ist mit dem weit verbreiteten O-Isotopenminimum bei 55.5 ka verknüpft.

In den  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *G. bulloides* ist das Stadium 4 schlecht definiert. Einzig konstant ist ein extremes, aber unerklärliches,  $\delta^{13}\text{C}$ - Minimum von z.T. mehr als  $\Delta 1\text{‰}$  (Kerne in Abb. 8) im Übergang zu Stadium 3.

## 5.5. Sauerstoffisotopenstadium 5-10

Die klassische Dreigipfel-Gliederung in die Substadien 5.5-5.1 ist, soweit höher auflösende Zeitserien existieren, in keinem der Isotopenprofile (Abb. 8 und 9) richtig dokumentiert: Stadium 5.5 ragt zwar überall bei den benthischen und planktischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven heraus. Die Gipfel der Substadien 5.3 und der Beginn von Substadium 5.1 sind hingegen schlecht differenziert.

Im Substadium 5.5 zeigen die  $\delta^{18}\text{O}$ - Kurven von *G. bulloides* und *C. wuellerstorfi* holozäne, meist jedoch noch niedrigere Werte. In der  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve von *G. bulloides* zeigen sich zwei bis drei kurzzeitige Maxima bei Kern 23414, allerdings in keinem anderen Kern, obwohl dort dieses Zeitintervall z.T. besser aufgelöst wird (vgl. Tab. 5). Der Übergang von Substadium 5.5 zu 5.4 ist in allen Kernen durch eine Zunahme von benthischen und planktischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte um maximal 1 ‰ markiert.

Bei Kern 23414 ist die Termination II so hoch aufgelöst, daß zwei benthische O-Isotopenplateaus sich zeigen (Abb. 7 und 8), die als Kaltphasen der Jüngeren Dryas ähneln (Sarnthein & Tiedemann, 1990).

Die SPECMAP-Stadien 6-9 (Abb. 9) sind vor allem an Termination II und III sowie der eindeutig identifizierbaren Stadienfolge 7.1 und 7.3, 7.4 und 7.5 zu erkennen. Bei Kern 17049 und 23414 zeigt Stadium 7.5 niedrigere planktische und/oder benthische  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte als die Stadien 7.3 und 7.1, anders als in der SPECMAP-Kurve, möglicherweise die Folge eines weiteren Schmelzwasserpulses im Zusammenhang mit Termination III (Abb. 9). Allerdings ist auch beim extrem hochauflösenden Profil von ODP-Site 658 (15 cm/ka) der  $\delta^{18}\text{O}$ -Gipfel von Stadium 7.5 höher als die von 7.3 und 7.1 (Sarnthein & Tiedemann, 1990).

Abb. 9.  $\delta^{18}\text{O}$ -/ $\delta^{13}\text{C}$ -Kurven von *G. bulloides* und *C. wuellerstorfi* gegen Kernalter (100 bis 350 ka)  
Fig. 9.  $\delta^{18}\text{O}$ -/ $\delta^{13}\text{C}$ -records of *G. bulloides* und *C. wuellerstorfi* vs. core age (100-350 ka)

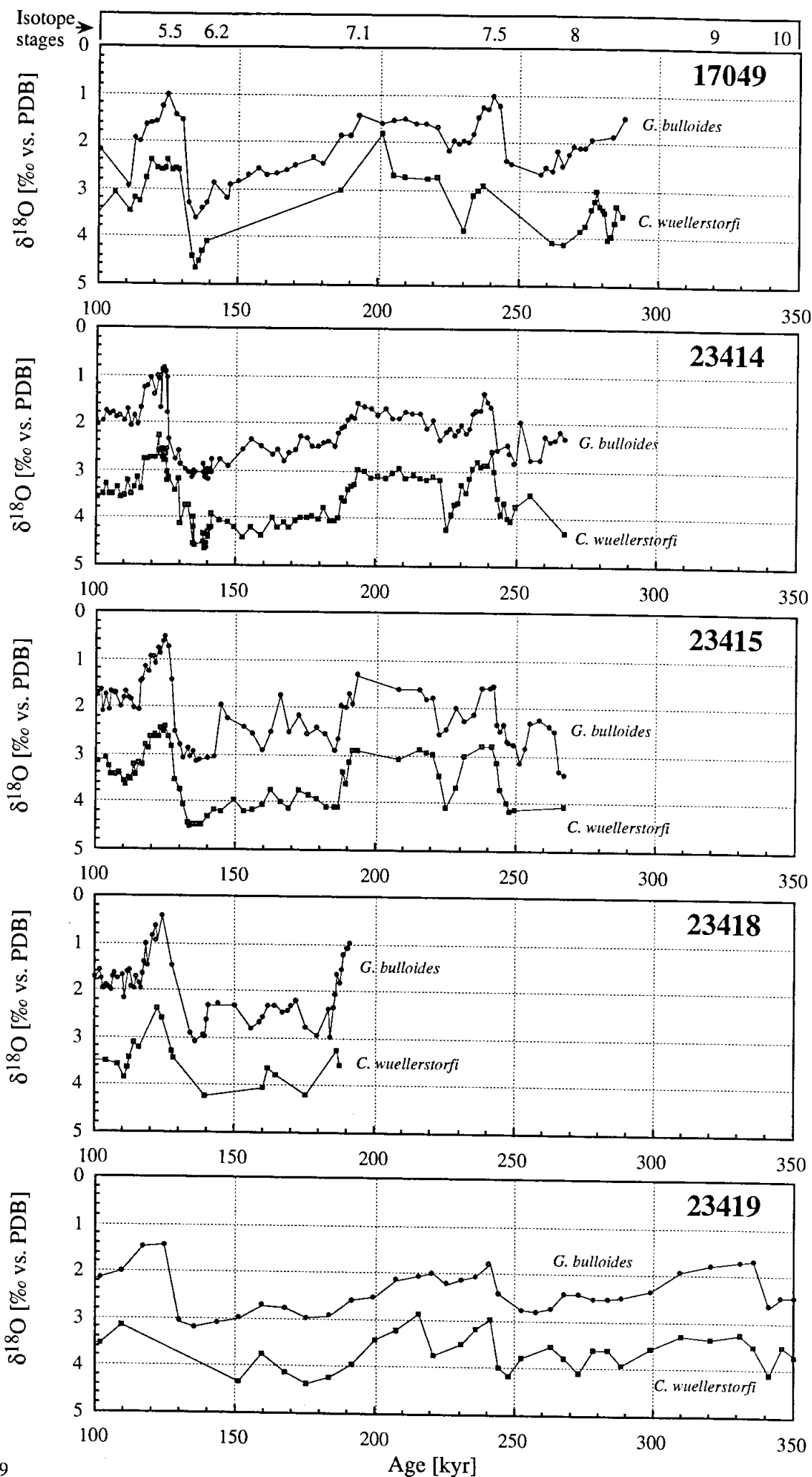


Abb. 9 / Fig. 9

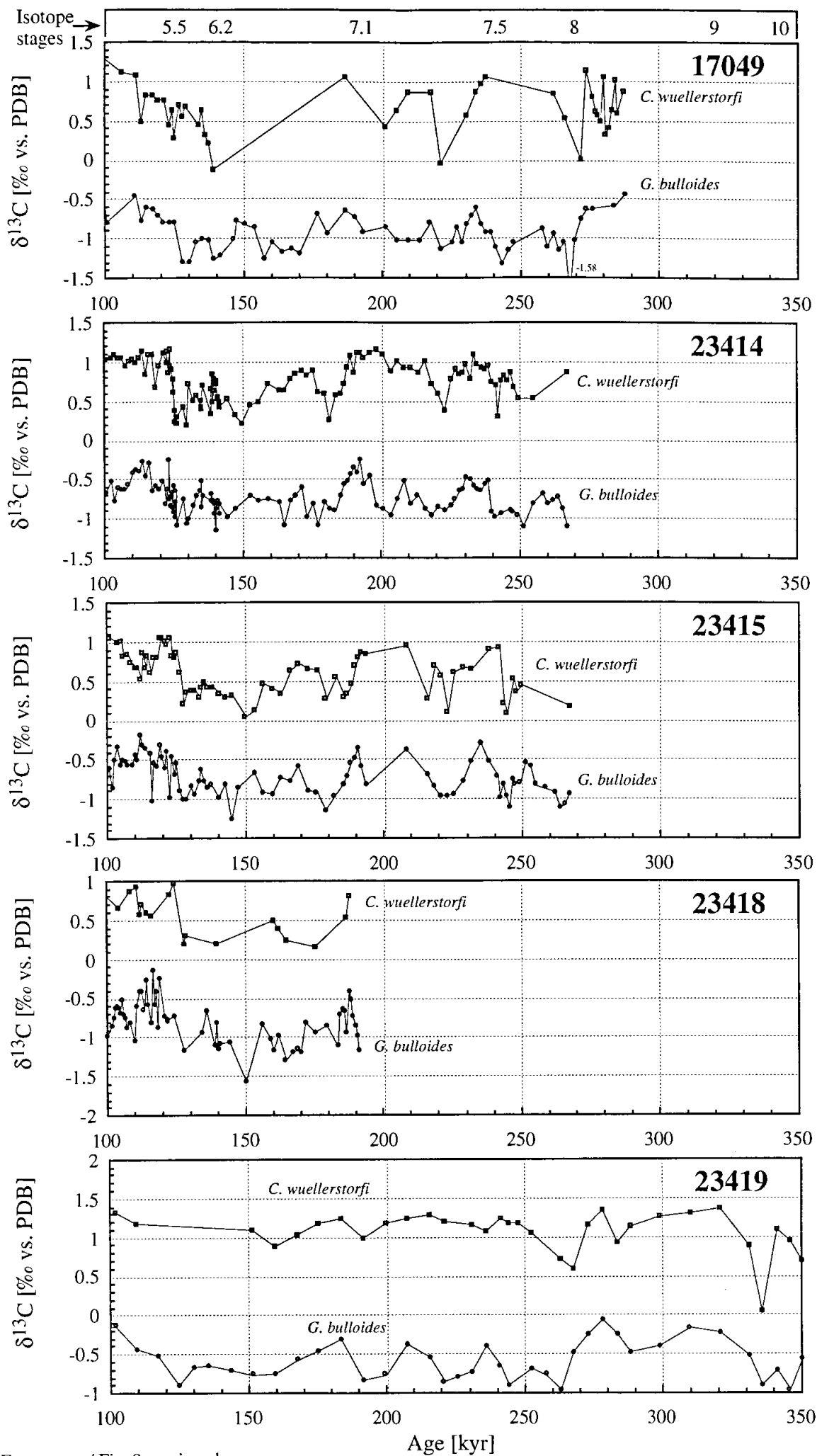


Abb. 9 Fortsetzung/ Fig. 9 continued

## 5.6. $\delta^{13}\text{C}$ -Kurven von *C. wuellerstorfi*

Für die letzten 120 000 Jahre lassen sich die  $\delta^{13}\text{C}$ -Kurven von *C. wuellerstorfi* vereinfachend als Glieder einer "Mischungsreihe" zwischen den  $\delta^{13}\text{C}$ -Kurven aus geringer und großer Wassertiefe beschreiben. In Kernen aus Wassertiefen von 1,1–1,4 km (Kerne SO82-5, SO75-26K1 und BOFS17K; Bertram *et al.*, 1995) sind die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in den Kaltzeiten höher (z.T. höher als 1,7 ‰; Abb. 7 und 8) als in den Warmzeiten. Ein gegenläufiger Trend zeigt sich Kernen aus Wassertiefen von mehr als ca. 2,5 km (Kerne 23415-18, 17049; Abb. 7 und 8). Hier sind die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in den Kaltzeiten niedriger: z.T. liegen sie bei weniger als -0,2 ‰ (Kern 23417). In einer Wassertiefe von ca. 2,2 km (Kern 23414, Abb. 7 und 8) bleibt das  $\delta^{13}\text{C}$ -Niveau in etwa konstant.

Überlagert wird dieser Trend durch  $\delta^{13}\text{C}$ -Minimumspitzen, die in der Regel an die Heinrich-Ereignisse geknüpft sind und deren Höhe am Rockall-Plateau mit zunehmender Wassertiefe zu steigen scheint. In die gleiche Richtung steigt die  $\delta^{13}\text{C}$ -Variabilität. Ähnlich hoch variabel ist auch die  $\delta^{13}\text{C}$ -Kurve im "Kronzeugenkern" für das Überstromwasser aus der NGS, Kern 17051, wo noch weitere  $\delta^{13}\text{C}$ -Minima zwischen die "Heinrich-Minima" eingeschaltet sind (Abb. 8).

In Stadium 6 sind die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in allen Kernen im allgemeinen um ca. 0,5 ‰ niedriger als im letzten Hochglazial (Stadium 2). Kurzfristige  $\delta^{13}\text{C}$ -Minimumspitzen liegen bei Termination II und III sowie an den Stadiengrenzen 7.4/7.3, 7.1/6.6 und 6.4/6.3.

## 5.7. Diskussion: 80 000 Jahre Tiefenwasserzirkulation in einem $\delta^{18}\text{O}/\delta^{13}\text{C}$ -Vertikalprofil am Rockall-Plateau

Eine der Kernfragen der Paläoozeanographie ist die nach der Geschwindigkeit, mit der natürliche Klimaveränderungen an Land und im Ozean verlaufen. In den grönländischen Eiskernen zeigte sich in Stadium 2 und 3 eine Serie von extrem kurzen Klimaoszillationen (Heinrich- und Dansgaard-Oeschger-Ereignisse) mit abwechselnd Holozän- und Glazial-ähnlichen Temperaturen (Dansgaard & Oeschger, 1989). In den Sedimentkernen des N-Atlantiks weisen, wie soeben dargelegt, die IRD- und Häufigkeitskurven von *N. pachyderma* (sin.) auf eine Abfolge ähnlich kurzer Klimaereignisse im Oberflächenwasser (Bond *et al.* 1993, Bond & Lotti, 1995, Cortijo, 1995; Fronval *et al.*, 1995), deren stärkste die Heinrich-"Katastrophen" waren. Im folgenden wird zusammengefaßt, wie sich im Zuge dieser Ereignisse auch die Tiefenwasserzirkulation änderte, und wie ihre Änderung mit Wechseln im Oberflächenwasser zeitlich und räumlich verknüpft war.

Für dieses Ziel wurden alle Isotopenkurven vom Südhang des Rockall Plateaus bei etwa 20° W, zwischen 1100 und 3850 m Wassertiefe (Abb. 10) zu einem doppelten vertikalen Raum-Zeit-Isotopen-Schnitt zusammengefaßt (Abb. 11) und durch einige Isotopenkurven anderer Autoren (Kerne; BOFS 17K, CH 73-139c, V 28-73; V 29-193, V 29-198) noch ergänzt. Bei allen Isotopenkurven wurden die Meßwerte zu Zeitschnitten von 500 Jahren gemittelt. Einerseits wurden dadurch kurze Heinrich-Klimaereignisse von weniger als 1000 Jahren nicht weggedämpft, andererseits im allgemeinen 2-3 Einzelmeßpunkte für jeden Zeitschnitt gemittelt, somit nur selten Einzelmeßwerte

verwendet und in ihrer Höhe überinterpretiert. Bei Altern von über 50 000 Jahren nimmt allerdings die Datendichte der  $\delta^{18}\text{O}/\delta^{13}\text{C}$ -Transekte deutlich ab.

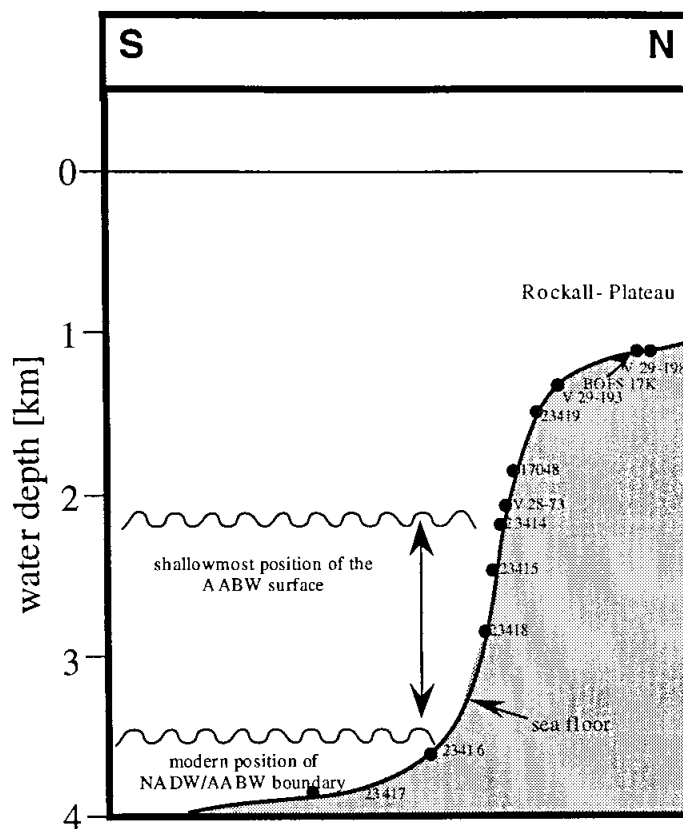


Abb. 10. Schematisches N-S-Profil über den Südhang des Rockall Plateaus mit Kernpositionen als Grundlage für den vertikalen Raum-Zeit-Schnitt in Abb. 11. Wellenlinien zeigen maximale Verlagerung der NADW/AABW-Grenzfläche zwischen Glazial und Holozän.

Fig. 10. Schematic N-S transect across Rockall Plateau with the position of cores used in the vertical space-time-transect of Fig. 13. Wavy lines bracket vertical shift of the NADW/AABW boundary between LGM and Holocene.

Faßt man die Einzelbefunde der vorangegangenen Teilkapitel 5.1-5.6 mit Abb. 11 a und b kurz zusammen, so fallen einem in dem  $\delta^{13}\text{C}$ -Raum-Zeit-Schnitt trotz aller möglichen kleinen Unschärfen der zeitlichen Zuordnung drei wesentliche Strukturen ins Auge: 1.) Der  $\delta^{13}\text{C}$ -Vertikalgradient, der sich von den Warmstadien 1 und 5a zu den Kaltstadien 2 und 4 (und teilweise auch 3) deutlich von etwa 0,4 ‰ auf über 1,6 ‰ versteilte. 2.) Dieser Langzeit-Entwicklung sind kurzfristige  $\delta^{13}\text{C}$ -Minima überlagert, wo Werte von <0,4 ‰ z.T. bis weniger als 2000 m Wassertiefe (z.B. vor 17 000 Jahren) hinauf vorrücken, im allgemeinen verknüpft mit Heinrich Ereignissen, z. T. auch noch kurzperiodischer. 3.) waren die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des Frühholozäns (>4 000 Jahre vor heute) um 0,4-0,6 ‰ höher als seither.

Beim eiseffekt-bereinigten  $\delta^{18}\text{O}$ -Transekt von Abb. 11 b finden sich im wesentlichen die gleichen drei Merkmalsgruppen: 1.) der grundlegende Unterschied zwischen "Holozän" und "Pleistozän" (vor mehr als 17 000 Jahren), 2.) die kurzfristigen Stöße extrem schwerer  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ( $\Delta 0,4-0,5$  ‰) irgendwie im Zusammenhang mit

den Heinrich-Ereignissen, und 3.) der deutliche Unterschied zwischen Früh- und Spätmittelholozän (hier um 0,2-0,4 ‰ höhere  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte).

Alle diese Phänomene im  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ - Profilschnitt lassen sich wohl nur im Zusammenhang mit Fluktuationen in der Stärke des Salzförderbandes erklären. Dabei sind vor allem folgende Fragen zu diskutieren:

1.) Die möglichen Ursachen für die längerfristigen generellen  $\delta^{18}\text{O}/\delta^{13}\text{C}$ -Schwankungen zwischen Eiszeit (Stadien 4-2) und Holozän und Teilen der Termination I, sowie für jene zwischen Früh- und Spätholozän. Hier spielt sicher schon die Frage nach den unterschiedlichen Bildungsorten des Zwischen- und Tiefenwassers in Eiszeit und Zwischeneiszeit herein, die allerdings erst in Kap. 6 und 7 genauer mit Befunden belegt werden können.

2.) Zentral wichtig erscheint die Frage, auf welche Weise die viel kurzfristigeren Heinrich-Eisberg-Schmelzwasserereignisse sich im Einzelnen auf die nordatlantische Tiefen- (und Zwischen-) wasserzirkulation, d.h. auf ihre T-S-Verhältnisse wie auf ihre Ventilation auswirkten. Besonders aufschlußreich sind hier u.a. auch

- die genauen Phasenbeziehungen zwischen Heinrich-Ereignis und Fluktuation der Tiefenzirkulation,
- neue Hinweise auf unterschiedliche Bodenwasser-Fließgeschwindigkeit und
- die exakte der Ereignisse sowie
- Befunde über Zirkulations-Phänomene, die im Anschluß an die einzelnen Heinrich-Ereignisse stattfanden.

3.) soll versucht werden, noch Querbeziehungen zwischen den noch viel kurzfristigeren Dansgaard-Oeschger-Ereignissen und der atlantischen Tiefenzirkulation aufzudecken und anzudiskutieren.

4.) wäre schließlich nach quantitativen Hinweisen auf die Mächtigkeit der Heinrich-Schmelzwasserlinsen im N-Atlantik zu suchen.

**zu Frage 1.-** Der versteilte glaziale  $\delta^{13}\text{C}$ -Gradient im - "eindimensionalen" - Vertikalprofil nahe dem NE-Rand des N-Atlantiks deutet zum einen auf ein mächtigeres AABW-Ursprungspaket, dessen Oberfläche am Südrand des Rockall-Plateau von heute ca. 3 500 m Wassertiefe (Lonsdale & Hollister, 1979; Manighetti & McCave, 1995) damals auf <2 500 m angehoben war (vgl. Kapitel 6 und 7; Manighetti & McCave, 1995; Sarnthein *et al.*, 1994). Zum anderen war das Zwischenwasser im NE-Atlantik in Stadium 2, 4 sowie im späten Stadium 3 durchweg bestens ventiliert. Die Frage nach der Quelle dieses Wassers kann mit diesem einen Vertikalprofil allein nicht beantwortet werden und wird daher erst im Zusammenhang mit Zeitscheiben-Rekonstruktionen in Kapitel 6 und 7 eingehend diskutiert.

Abb. 11. Vertikale Raum-Zeit-Schnitte der  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von *C. wuellerstorfi* am Südhang des Rockall Plateaus (Kernpositionen in Abb. 10). Die Werte der Isotopenkurven wurden in 500-Jahre-Schritten gemittelt; die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *C. wuellerstorfi* auf das Wassergleichgewicht (Shackleton, 1974) und für den Eiseffekt korrigiert (Fairbanks, 1989; Labeyrie *et al.*, 1987). Lage der Isolinien durch lineare Interpolation festgelegt. Grau unterlegte Flächen ohne Daten. Obere Leiste:  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von *N. pachyderma* (sin.) gemittelt aus Kern 23414, 23415 und 23417;  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von *N. pachyderma* (sin.) um 0,82 ‰ zum Wassergleichgewicht hin korrigiert (Labeyrie & Duplessy, 1985).

Fig. 11. Vertical space-time-transects of  $\delta^{18}\text{O}$ - and  $\delta^{13}\text{C}$ -values of *C. wuellerstorfi* from the south slope of Rockall bank (core position see Fig. 10). Isotope values were averaged in 500 year time steps. The position of the isolines is based on linear interpolation between data points.  $\delta^{18}\text{O}$ -values were shifted to water equilibrium (Shackleton, 1974) and were corrected for the ice effect (Fairbanks, 1989; Labeyrie *et al.*, 1987). Grey shaded areas = no data points. On top: averaged  $\delta^{18}\text{O}/\delta^{13}\text{C}$ -values of *N. pachyderma* (sin.) from core 23414, 23415 and 23417;  $\delta^{13}\text{C}$ -values of *N. pachyderma* (sin.) shifted by 0,82 ‰ to water equilibrium (Labeyrie & Duplessy, 1985).



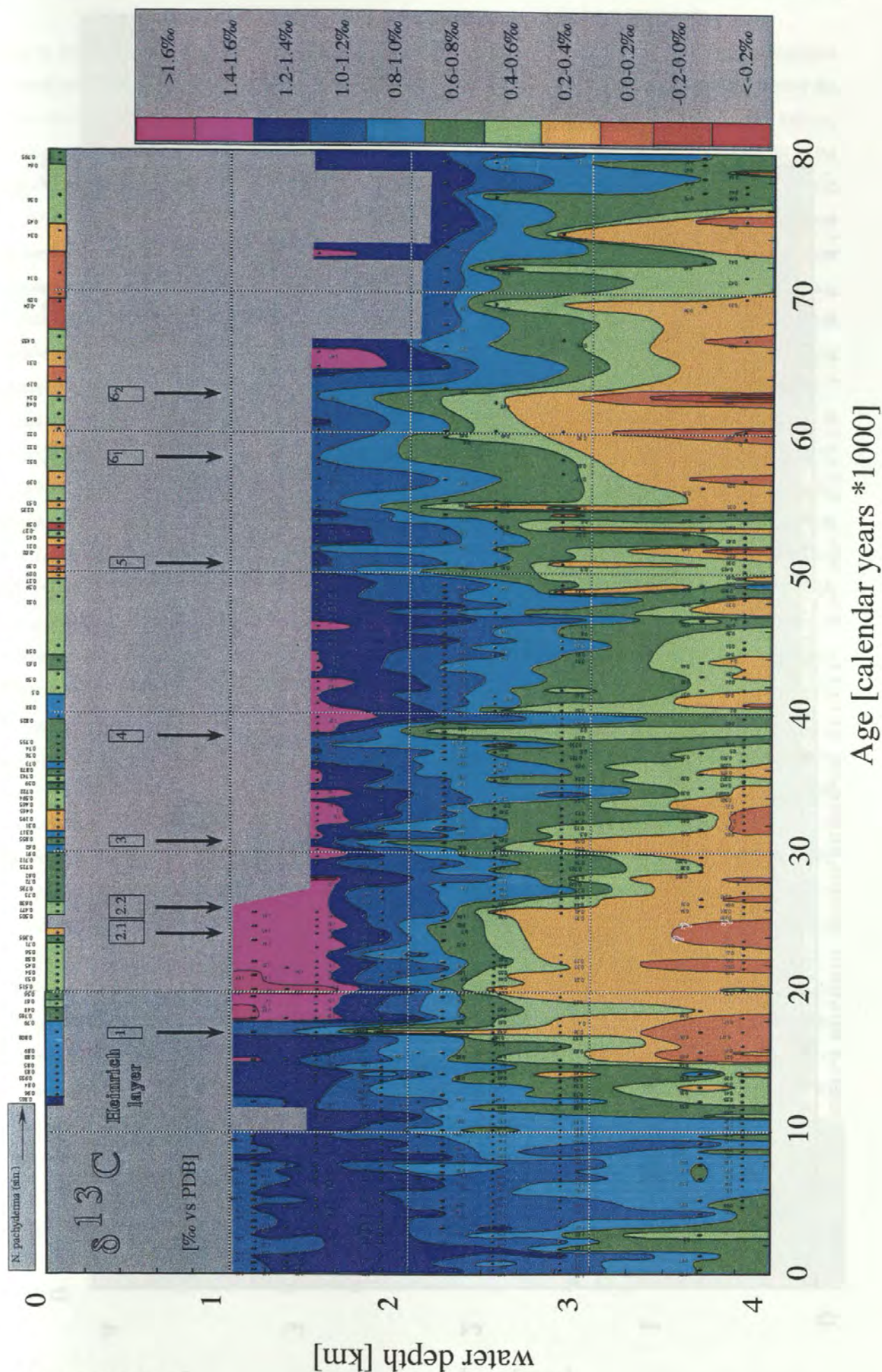
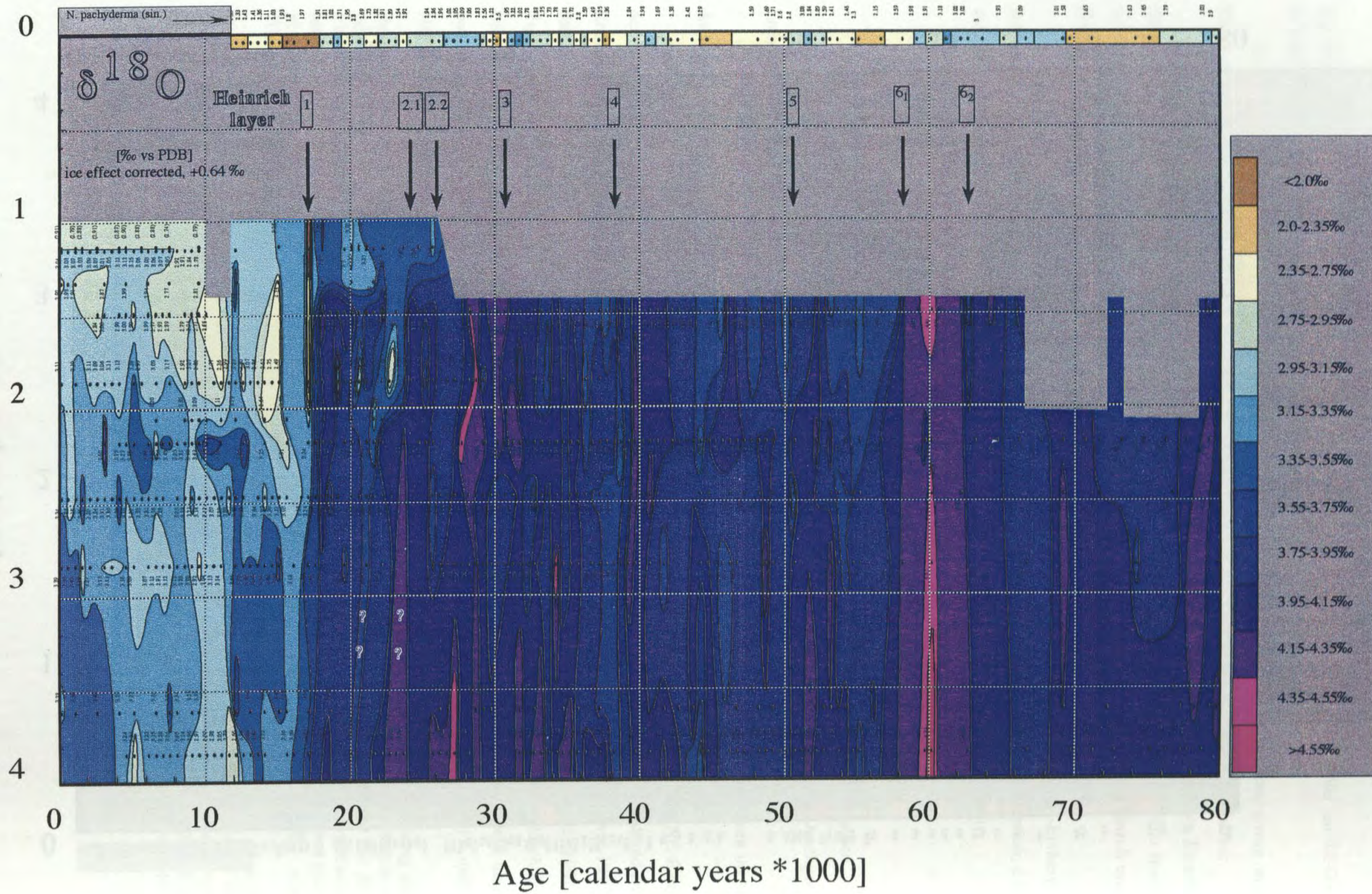


Abb. 11 a / Fig. 11 a



Abb. 11 b/ Fig. 11 b

water depth [km]





Die in den Kaltstadien 2-4 durchweg schweren  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ließen sich prinzipiell durch höhere Salzgehalte oder niedrigere Temperatur im Glazial ausdeuten. Jedoch kann nur eine niedrigere Temperatur im Glazial die Befunde sinnvoll erklären, weil: a) das damals nach oben aufdringende AABW bekanntermaßen extrem kalt ist, heute weniger als  $1,8^\circ\text{C}$  (Schmitz & McCartney, 1993), b) höhere Salzgehalte im NADW-Stockwerk im LGM unwahrscheinlich sind, weil das Salzförderband damals deutlich geschwächt war (Duplessy *et al.*, 1988, Sarnthein, *et al.*, 1994) und damit auch die Salzfracht, c) das glaziale NADW in seinen Ursprungsgebieten, wo immer diese lagen, wesentlich stärker durch die umgebenden Eisschilde abgekühlt wurde bei zugleich schwächerer Golfstrom Advektion (Keigwin & Boyle, 1989; Koc Karpuz & Jansen, 1992; Sarnthein *et al.*, 1995; Weinelt, 1993), d) aus einer Salinitätsabnahme seit dem LGM nahezu zwingend folgte, daß das Salzförderband im Holozän reduziert worden wäre, ein Szenario, das in Anbetracht des heute - wie vermutlich im gesamten Holozän - intensiv zirkulierenden Salzförderbandes faktisch ausgeschlossen scheint (vgl. Kap. 7; Sarnthein *et al.*, 1994).

Rechnete man den  $\delta^{18}\text{O}$ -Unterschied von 0,4-0,6 ‰ bei einer heutigen Tiefenwassertemperatur von  $<2-3^\circ\text{C}$  (Schmitz & McCartney, 1993) auf glaziale Temperaturen zurück, so bedeutete dies, daß diese damals bei ca.  $0-1^\circ\text{C}$  gelegen haben müßten, ein Wert zuletzt bestätigt durch Dwyer *et al.* (1995) und Labeyrie *et al.* (1987). Für die Aussagekraft dieser Temperaturwerte muß jedoch berücksichtigt werden, daß AABW im Gegensatz zu NADW zu großen Teilen durch Ausfrieren von Meereis erzeugt wird (Weiss *et al.*, 1979), was das Verhältnis beeinflusst, mit dem  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Wasser}}$  und Salzgehalt variieren. Als Folge ist dieses Verhältnis im AABW heute 1:1,5 (Zahn & Mix, 1991), im NADW hingegen 1:2 (Duplessy *et al.*, 1991; Kroopnick, 1985; Östlund, 1987). Da dieses Verhältnis in der Vergangenheit vermutlich schwankte (Zahn & Mix, 1991), sind die hier überschlagsweise genannten Tiefenwassertemperaturen, die über die NADW/AABW-Grenzfläche hinweg bei konstantem  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Wasser}}$ /Salinitätsverhältnis berechnet wurden, lediglich Anhaltspunkte.

Die durchwegs hohen frühholozänen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von mehr als 0,8 ‰, auch in fast 4 000 m Wassertiefe, belegen eine tiefreichende Ventilation des N-Atlantiks. Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte deuten zugleich an, daß relativ warmes und verhältnismäßig salzreiches NADW das gesamte Rockall-Plateau bis zu dessen Fuß überdeckte. Die nachfolgend schlechtere Ventilation und Abkühlung im Tiefenwasser ist vermutlich auf ein leicht mächtigeres AABW-Wasserpaket im Zusammenhang mit einer reduzierten Bildung von NADW u. U. an verschiedenen Ursprungsgebieten (Grönland See im Verhältnis zu Baffin See) zurückzuführen (Dickson *et al.* 1990), ausführlicher in Kapitel 6 und 7 diskutiert.

**zu Frage 2-** Bond *et al.* (1993), Cortijo (1995), Fillon (1985), Robinson *et al.* (1995), Maslin (1993) und Maslin *et al.* (1995) haben gezeigt, daß im Gefolge der großen "Heinrich"-Eisbergausbrüche, vor allem von Nordamerika, Eisbergflotten in Richtung Irland quer über den Atlantik gedriftet sind und dabei zu einem mächtigen Schmelzwasserdeckel führten. Zu Beginn von Termination I a kam hinzu ein ebensolcher großer Eisbergausbruch vom Barents Schelf; er erfolgte vielleicht mit rund 500 Jahren Verspätung auf Heinrich Ereignis 1 und schüttete Schmelzwasser bis gegen Schottland (Sarnthein *et al.*, 1995). Entscheidend ist nun die Frage, ob und wie stark diese Schmelzwässer gerade Gebiete mit Tiefenwasser-Konvektion betroffen haben und damit das Salzförderband vorübergehend zum Stillstand oder zur Umkehr zwangen.

Tatsächlich geht bei Heinrich Ereignis 6 bis 3 und 1, wie in Abb. 11 a zu sehen, die Tiefenwasserventilation erwartungsgemäß stark zurück, wie auch Sarinthein *et al.* (1994) für Heinrich Ereignis 1 feststellten. Abb. 6 zeigt, daß die Ventilationsminima im allgemeinen mit den IRD-Spitzen zusammenfallen. Bei Heinrich Ereignis 1 ist dies bei 3 wichtigen Kernen (Kerne 23416, 23419, SO75-26Kl), vor allem aus geringer Wassertiefe von ca. 1100-1500 m nicht der Fall. Das  $\delta^{13}\text{C}$ -Minimum folgte hier um einige 100 Jahre später, vielleicht eine späte Wirkung des Barents-Schelf-Eisabbruchs.

Interessanterweise hält eine (flache) Zwischenwasserbildung während Heinrich Ereignis 1 an, wie in BOFS 17K am Rockall Plateau hochauflösend dokumentiert ist (Bertram *et al.*, 1995). Die Dichte dieses Zwischenwassers, die sich aus  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten (Abb. 11 b) bei Annahme gleicher minimaler Temperaturen ungefähr einschätzen läßt, war offenbar deutlich geringer als etwa bei 2500 m Tiefe (vgl. Diskussion in Kap. 7) und reichte somit nicht für Tiefenkonvektion. Allerdings könnten die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Flachen auch stark zu leichten Werten hin "verfälscht" sein, weshalb die obige Vermutung über eine stabile Dichteschichtung nicht unbedingt stichhaltig sind.

Bei den Kernen 17048, 23415, 23419 und SO82-5 aus Wassertiefen 2500-1100 m (Abb. 6, 8, 11 b), d.h. vor allem aus flacheren Wassertiefen wird man die fast generellen und deutlichen benthischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Minimumspitzen von bis zu  $\Delta 1,6 \text{ ‰}$  bei HE 1, 4, 5, 6.2 (entsprechend mehr als  $6^\circ\text{C}$ ) auf jeden Fall einem solchen Schmelzwassereintrag zurechnen müssen, ähnlich wie auch von Jansen & Veum (1990) vermutet; leider allerdings auf keine Weise quantifizierbar. Eine weiträumige Tiefenwassererwärmung um mehr als  $6^\circ\text{C}$  scheidet hingegen während dieser gerade als kalt bekannten Heinrich-Ereignisse (Cortijo, 1995; Maslin, 1993; Maslin *et al.*, 1995) wohl ohnehin aus.

Bei reduzierter Tiefen- und Zwischenwasserbildung im Nordatlantik muß zwangsläufig die Zufuhr von Bodenwasser aus dem Antarktischen Bereich zunehmen und damit auch die Geschwindigkeit der geostrophischen Konturströme um den Fuß des Rockall Plateau. Gerade dieser Prozeß ist nun an laminierten Sedimenten in Kern 17049 wohl datiert (Tab. 2; Abb. 4) für das Ende der Jüngeren Dryas und Heinrich-Ereignis 3, ferner für Stadium 6 und 8 nachzuweisen. Derartige Maxima der Fließgeschwindigkeit am Rockall Plateau wurden jüngst auch für die Frühphase von Termination Ia beschrieben (Manighetti & McCave, 1995). Vermutlich ist dieser Prozeß prinzipiell an kurze Halte-/Abschwächungsphasen des Salzförderbandes geknüpft, unerklärlicherweise jedoch bisher in den Sedimenten selten identifiziert.

In diesem Zusammenhang ist es nun hochinteressant, daß über die laminierten Lagen von Kern 17049 erstmals die AABW-Tiefwasserreaktion auf das Heinrich Ereignis 3 einigermaßen exakt nach C14-Jahren eingegrenzt werden konnte: auf weniger als 800 Jahre (Abb. 4)! Dies ist deutlich kürzer als bisher angenommen (Bond *et al.*, 1993: >2500 Jahre). Bei dem laminierten Ereignis, das unmittelbar auf die Jüngere Dryas folgt, wurde zwar die Basis genau festgelegt (10.15 C14 ka), leider aber nicht die Obergrenze (siehe Kap. 4.1).

Broecker *et al.* (1988b) und Duplessy (1988a) nehmen an, im Gegensatz zu Rahmsdorf (1994/5), daß Schmelzwasserstöße wie die Heinrich Ereignisse zu einem bedeutenden "Wärme und Salinitätsstau" in den niederen Breiten des Atlantiks geführt haben müßten. Mit dem darauf folgenden Verschwinden der Eisberg-Schmelzwässer wäre es schließlich zu einer besonderen kurzfristigen Aufwärmung des N-Atlantiks gekommen (Cortijo, 1995; Maslin *et al.*, 1995). Im Zusammenhang mit dieser speziellen Ankurbelung des Salzförderbandes müßte eine ebenso

auffälliges "Durchspülen" des tiefen Atlantiks mit NADW folgen (Björnsson, 1995). In Abb. 11 b zeigen sich nun tatsächlich, wie beschrieben, im Gefolge von Heinrich Ereignis 6.2 und 3 ungewöhnlich hohe  $\delta^{18}\text{O}$ -Gipfel durchgängig zwischen 1500 und 4000 m, die besonders im Bereich des "AABW"-Stockwerks unterhalb von 2,3-3,5 km kaum mit einer relativen Abkühlung um  $0,4-0,5\text{‰} = \text{ca. } \Delta 2^\circ \text{C}$  (bei damaligen AABW-Temperaturen bei ca.  $0^\circ \text{C}$ ; s.o.) mehr zu erklären sind sondern nur durch eine kurzfristige Zunahme der Salzgehalte um ca.  $1\text{‰}$ , eben entsprechend jenem postulierten "Durchspülen".

**zu Frage 3-** Bond & Lotti (1995) und Fronval *et al.* (1995) haben gezeigt, daß in Kernen aus der NGS und dem Nordatlantik die IRD-Spitzen, deren stärkste die Heinrich Ereignisse waren, mit den Kaltphasen der Dansgaard-Oeschger-Ereignisse (Dansgaard-Oeschger, 1989) in den grönländischen Eiskernen korrelierbar sind. Es stellt sich nun die Frage, ob neben den Heinrich-Ereignissen auch die übrigen Kaltphasen der Dansgaard-Oeschger Ereignisse mit Schwächephase des Salzförderbandes verknüpft waren. Zur Beantwortung wurde daher versucht, auch diese äußerst kurzfristigen Oszillationen mit einer Dauer von maximal ca. 1500-2000 Jahren (Bond *et al.*, 1993) in Kernen mit hoher Zeitauflösung aus dem NADW/AABW-Grenzbereich mit benthischen  $\delta^{13}\text{C}$ -Minimumspitzen zu verknüpfen, ähnlich wie die Heinrich Ereignisse (herausvergrößert in Abb. 12). Es zeigt sich, daß dies sowohl in Kern 17051 aus der Gardar Drift als auch in Kern 23417 vom Rockall Plateau-Fuß (Abb. 10) für fast alle Dansgaard-Oeschger-Kaltphasen gelingt (vgl. Oppo & Lehman, 1995).

Diese extrem kurzfristigen  $\delta^{13}\text{C}$ -Minima könnten sich daher vereinfachend dadurch erklären, daß auch hier die Tiefenlage der NADW-Basisfläche geschwankt habe und durch Bildungsintensität des NADW gesteuert wurde. Bei den Dansgaard-Oeschger-Kaltphasen könnte die Tiefenkonvektion durch folgende Prozesse abgeschwächt worden sein: 1) Eine geänderte atmosphärische Zirkulation (Dansgaard & Oeschger, 1989; Taylor *et al.*, 1993; vgl. Kaspner, 1995; Grootes *et al.*, 1995), die auch Verdunstung und Temperatur in den Bildungsgebieten des NADW veränderte. 2) Schmelzwasserlinsen, durch die IRD-Spitzen *per se* angedeutet, könnten die Wassersäule stabilisiert und die Tiefenkonvektion gehemmt haben; jedoch ist die Verbreitung dieser Linsen bislang nicht bekannt. Im Gefolge beider Prozesse hätte sich das Salzförderband verlangsamt, zwangsläufig der Zustrom von "AABW" zugenommen und die NADW-Basisfläche sich nach "oben" verlagert. Warum die Abschwächung des Salzförderbandes bei den "gewöhnlichen" Dansgaard-Oeschger Ereignissen geringer war als bei den katastrophalen Heinrich-Ereignissen selbst, wie die auch die unterschiedlich starken IRD-Spitzen zeigen (Bond & Lotti, 1995, Fronval *et al.*, 1995) ist bisher unklar. Konsequenterweise zeigen nur solche Kerne diese kurzfristigen  $\delta^{13}\text{C}$ -Minima an, die gerade aus jenen Wassertiefen (hier  $>2500\text{ m}$ ) stammen, wo die NADW-Basisfläche auf- und abschwappte.

Abb. 12. Graphische Korrelation von  $\delta^{18}\text{O}$ -Maxima zwischen den Dansgaard-Oeschger Ereignissen im GRIP-Eiskern (Dansgaard & Oeschger, 1989) mit hochauflösenden benthischen  $\delta^{13}\text{C}$ -Kurven in Kern 17051 aus der Gardar Drift und Kern 23417 vom Rockall Plateau. Heinrich Lagen sind grau markiert.

Fig. 12. Graphic correlation of  $\delta^{18}\text{O}$ -maxima between the Dansgaard-Oeschger Events in GRIP-ice core (Dansgaard & Oeschger, 1989) and benthic  $\delta^{13}\text{C}$ -records of high resolution core 17051 from Gardar Drift and core 23417 from Rockall Plateau. Heinrich layers are shaded.

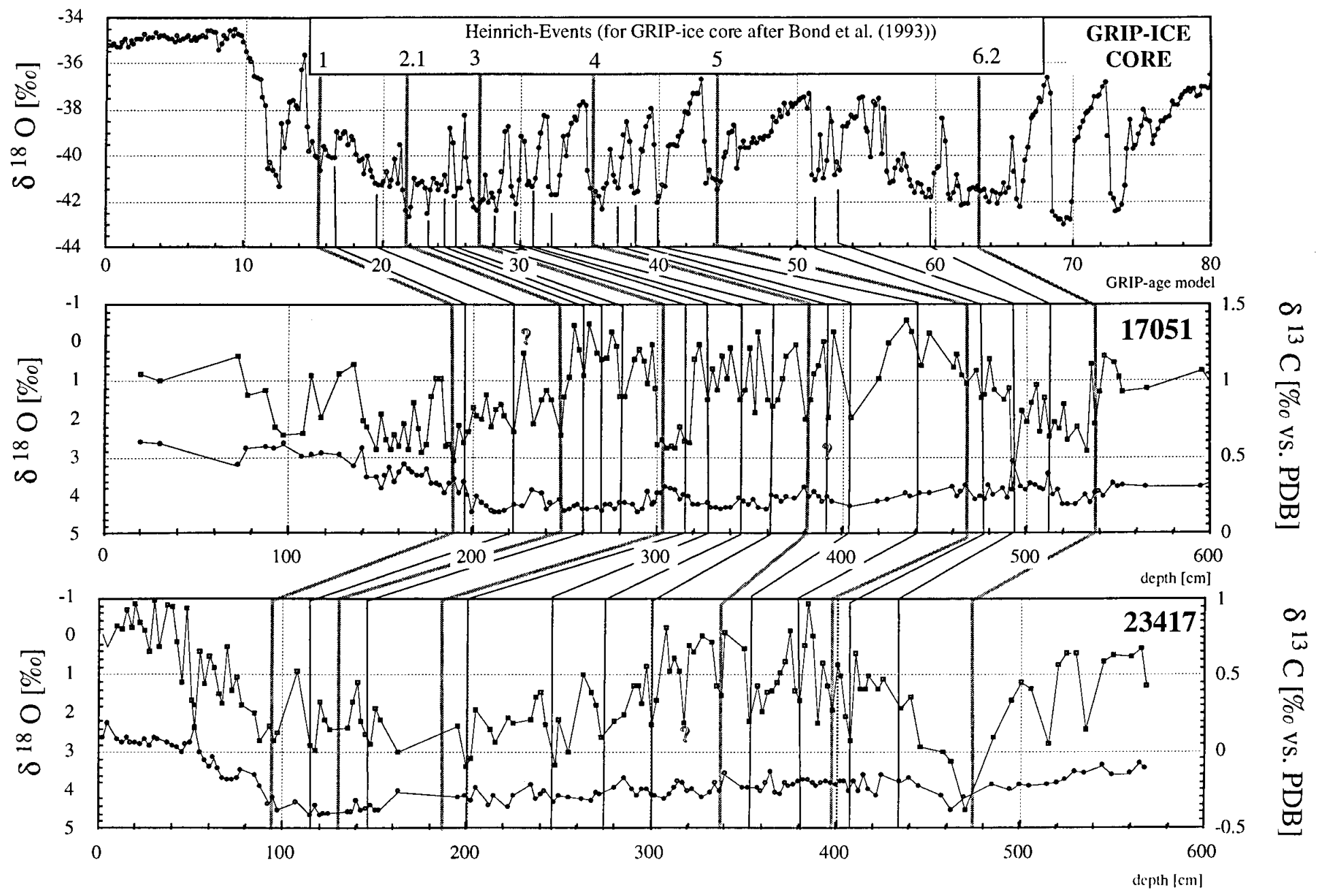


Abb- 12 / Fig. 12

Es fragt sich, ob auch auf diese Dansgaard-Oeschger-Schwächephasen des Salzförderbandes intensive Durchspülphasen folgten so wie nach einigen Heinrich-Ereignissen. Besonders in diesem Zusammenhang sind mphasen interessant. Wie dort deuten auch hier die häufigen kurzfristigen leichten  $\delta^{18}\text{O}$ -Maxima (Abb. 11 b, 12) vermutlich weniger auf niedrigere Temperaturen sondern eher auf Salinitäts-/Dichtespitzen (s.o.) als Folge einer intensiveren Konvektion von Tiefenwasser. Allerdings könnten mancher der leichten  $\delta^{18}\text{O}$ -Maxima auch eine Art von Artefakt durch falsch eingeschätzten Eiseffekt sein. Schließlich ist die zeitliche Zuordnung zu den Dansgaard-Oeschger-Ereignissen noch nicht gesichert.

**zu Frage 4-** Sicher spielt beim Beeinflussen der atlantischen Zirkulationsmuster durch Eisberg-Schmelzwasser die absolute Menge des Schmelzwassers eine wesentliche Rolle, d.h. die Machitgkeit der stabilen Deckschicht. Auf diese Frage könnten vielleicht die stark unterschiedlichen  $\delta^{18}\text{O}$ - (und  $\delta^{13}\text{C}$ - ?)Signale der beiden Planktonarten *N. pachyderma* (sin.) und *G. bulloides* eine erste Auskunft geben. Bisherige Planktonfänge zeigen (Carstens & Wefer, 1992): 1) Abtauchen von *N. pachyderma* (sin.) bei Süßwasserlinsen (Simstich, 1995), 2.) daher sehr vorsichtig als Anzeiger einer Salinitätsabnahme verwendbar, 3.) wenig zu *G. bulloides* bekannt. Die im Vergleich zu *N. pachyderma* (sin.) so völlig abweichenden  $\delta^{13}\text{C}$ - Signale von *G. bulloides* sind bisher kaum zu verstehen, aber ein möglicher Arbeitsweg in die Zukunft.



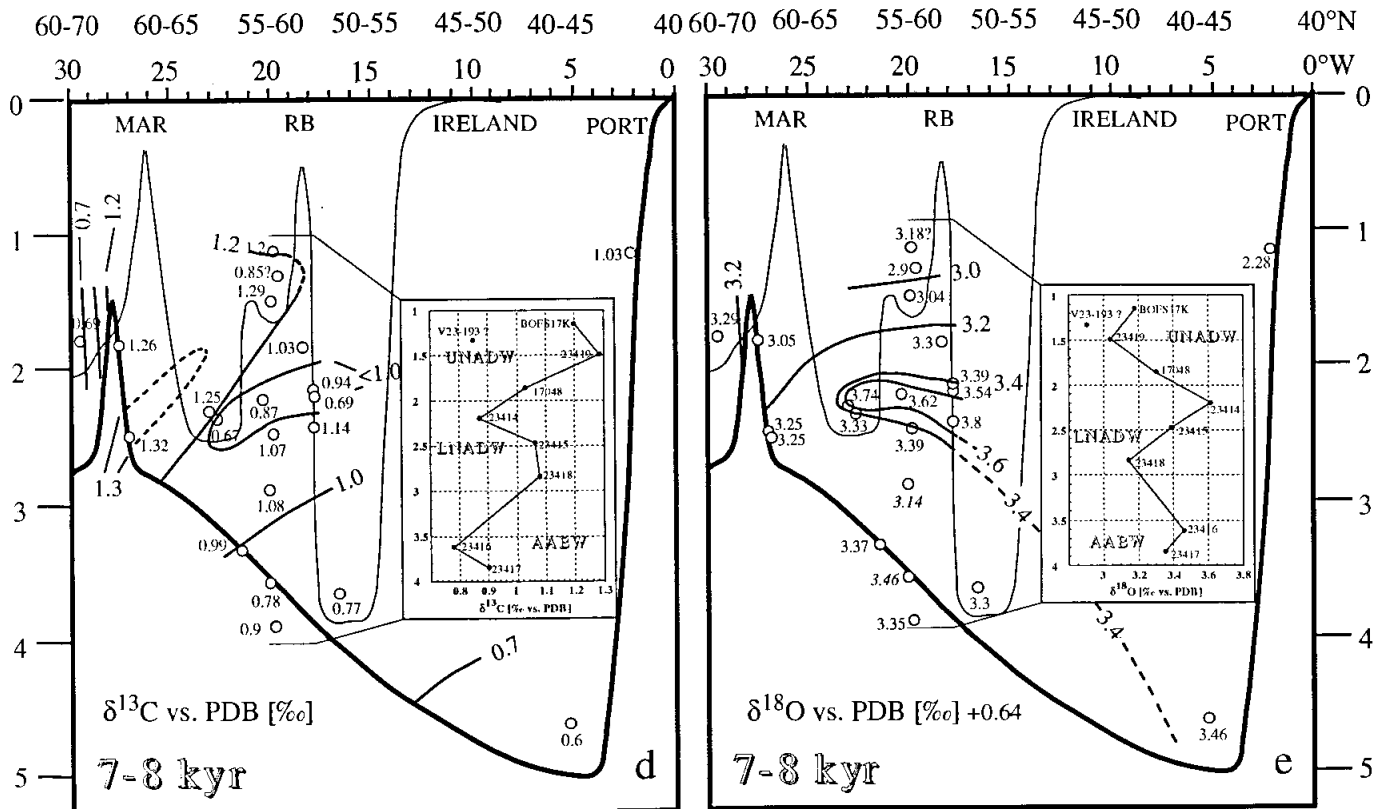
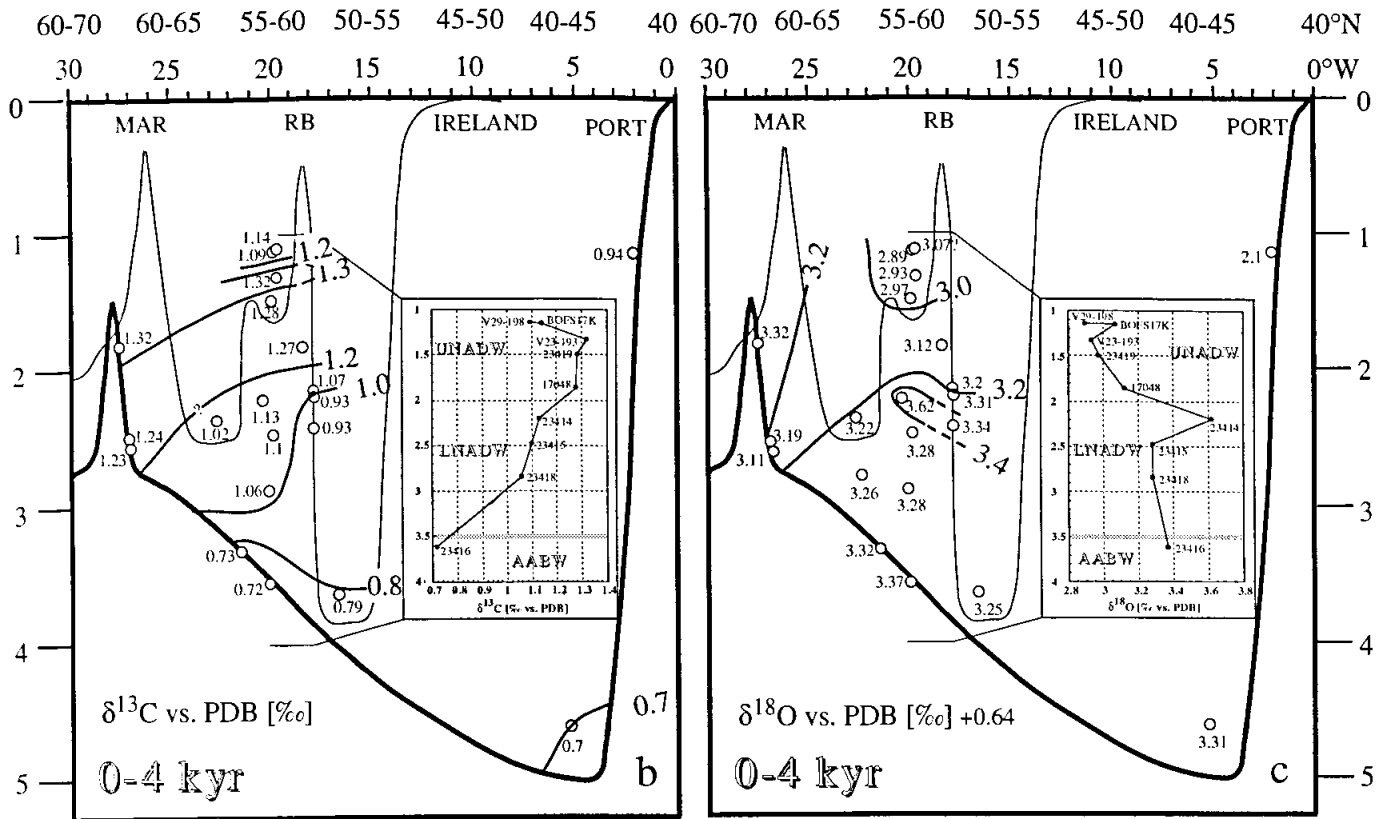


Abb. 13 / Fig. 13



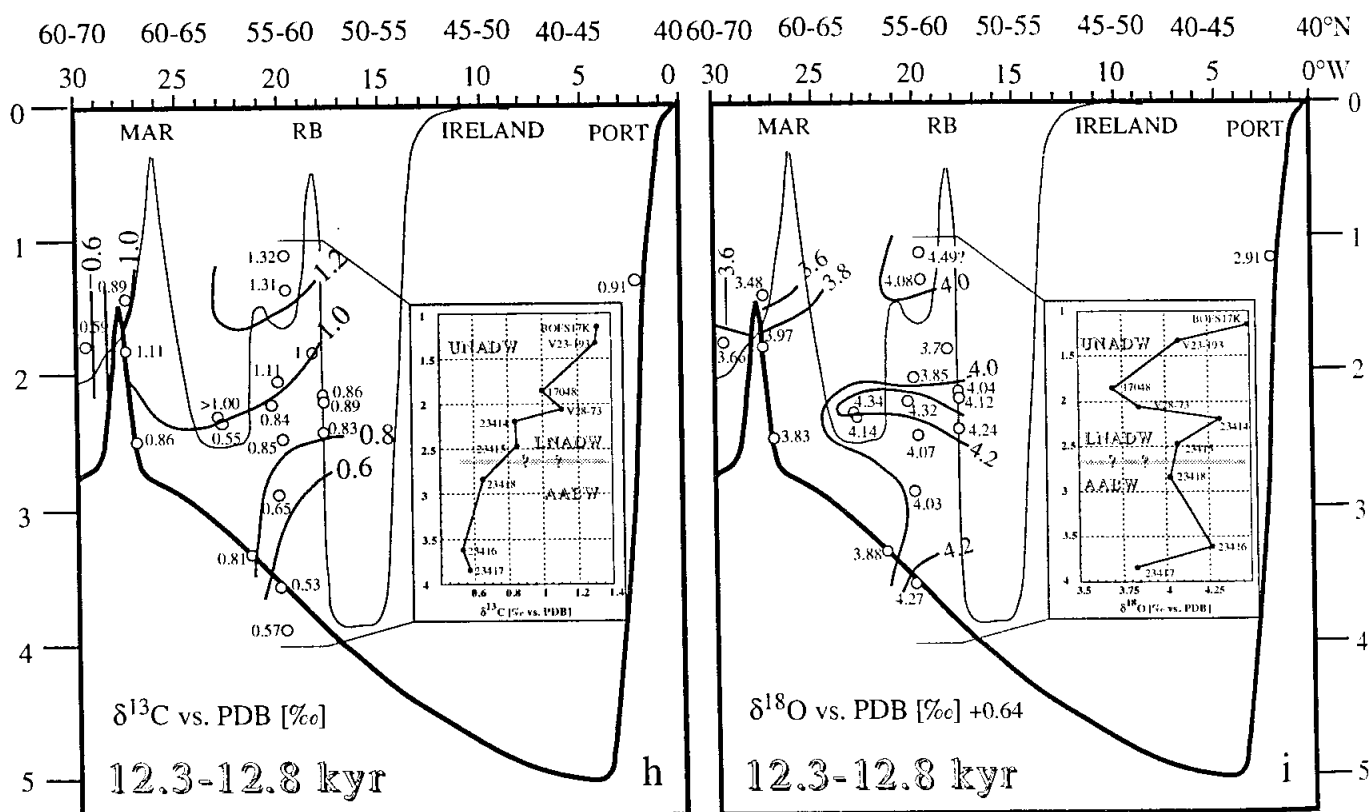
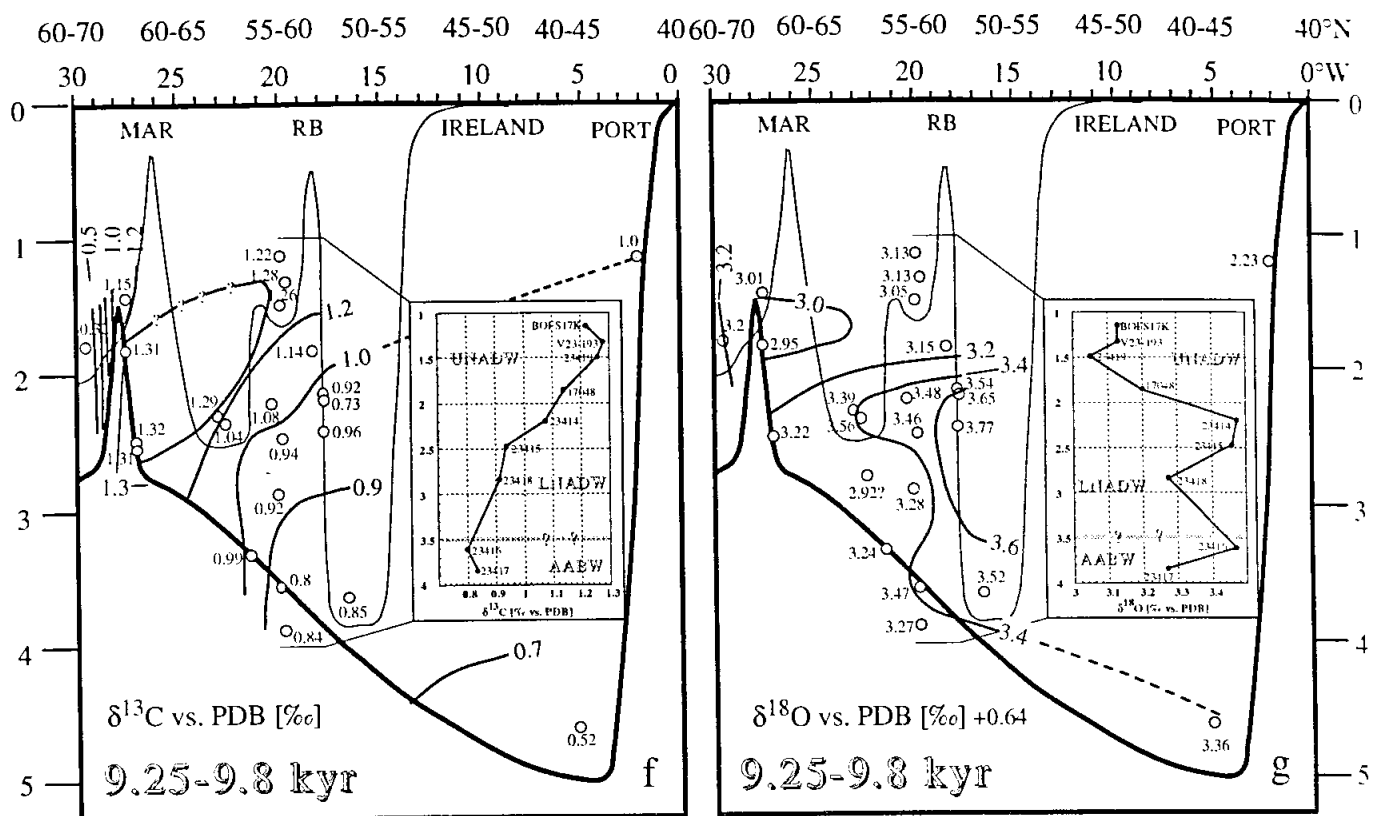


Abb. 13 Fortsetzung / Fig. 13 continued

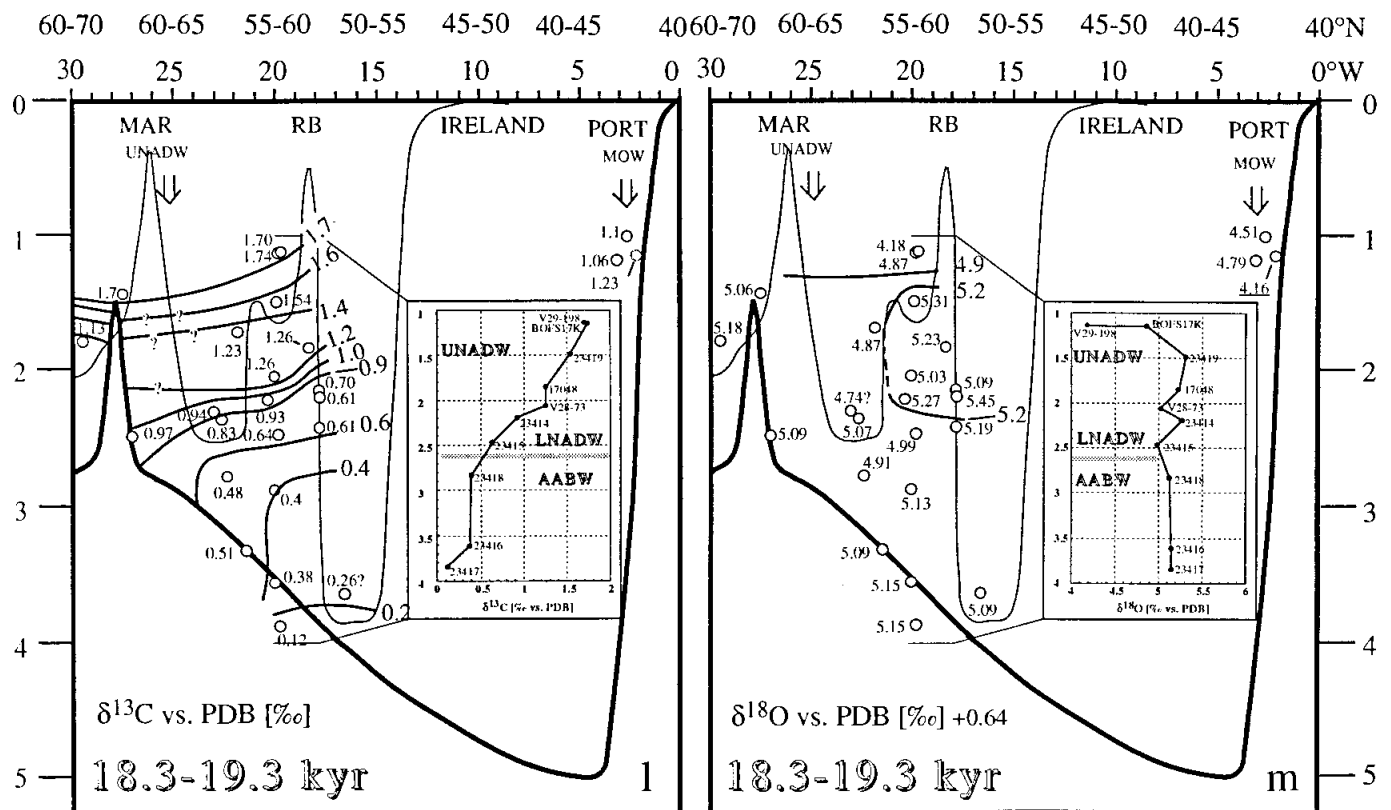
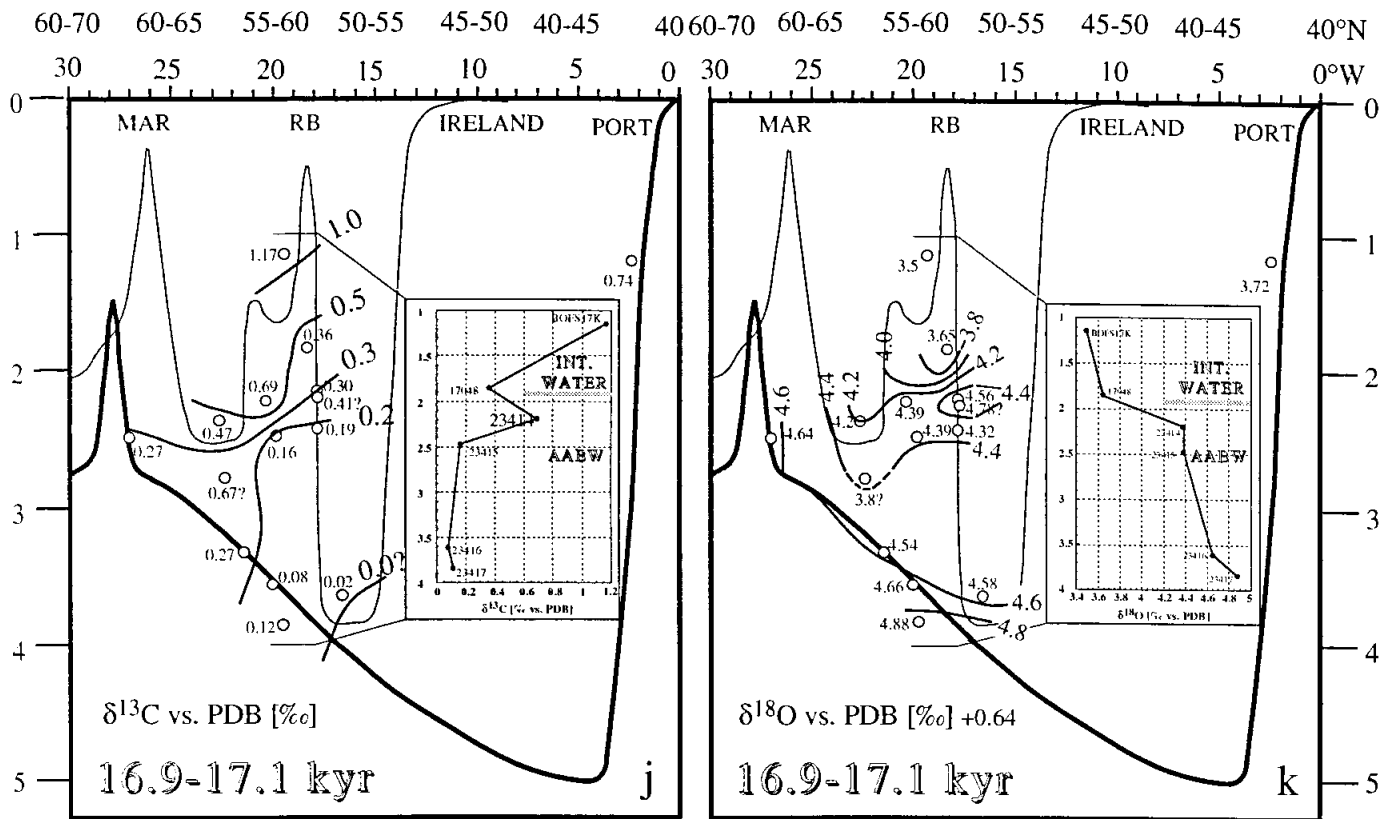


Abb. 13 Fortsetzung / Fig. 13 continued



Schnitte durch "Paläo-Wasserkörper" sind komplexer als rezente ozeanographische Profile, da sie zeitlich scharf definierbare Intervalle voraussetzen. Zahn (1986) konstruierte erste Paläo- $\delta^{13}\text{C}$ - und - $\delta^{18}\text{O}$ -Schnitte durch den oberen Ostatlantik vor NW-Afrika. Duplessy *et al.* (1988a) erstellten mit  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von *C. wuellerstorfi* einen N-S-Schnitt durch den NE-Atlantik für das LGM, um die Stärke der NADW-Pumpe anhand der Tiefenwasserventilation einzuschätzen. Zahn & Mix (1991) kartierten die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *C. wuellerstorfi* im Nordatlantik und Pazifik, um die Verteilung von AABW und NADW in etwa anhand ihrer Paläodichte-Werte zu beschreiben. Auch Sarinthein *et al.* (1994) konstruierten im N-Atlantik N-S und NW-SE-Transekte für insgesamt acht Zeitscheiben aus  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von *C. wuellerstorfi*. Auf ihrem NW-SE-Schnitt wird nun mit zusätzlichen Kernstationen vom Rockall-Plateau (1100 und 3800 m Wassertiefe) und zwei höher auflösend analysierten Profilen 17045 und 17048 (im Vergleich zu Sarinthein *et al.*, 1994 und Winn *et al.*, 1991) die Datendichte erheblich erhöht. Insgesamt stehen damit im nördlichen Nordatlantik 28 epibenthische Isotopenprofile für die Rekonstruktion der paläo-ozeanographischen Schnitte zur Verfügung. Die  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *C. wuellerstorfi* wurden für die sorgsam ausgewählten und definierten Zeitintervalle jeweils gemittelt (vgl. Anhang Zeitscheibenmittelwerte). Die Isolinien auf den Profilen wurden durch lineare Interpolation zwischen benachbarten Meßwerten festgelegt. Dabei wurden für Wassermassen eher unnatürliche "Kanten" als artefiziell weggeglättet.

Für die Auswahl der Zeitscheiben wurden in den  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven acht eindeutig identifizierbare Abschnitte ausgewählt, in denen die Vertikal-Struktur des Tiefenwassers zum Teil deutlich anders als heute war, in Analogie zu Sarinthein *et al.* (1994) die Zeitintervalle 0-4, 7-8, 9,25-9,8, 12,3-12,8, 16,9-17,1, 18,3-19,3, 21,5-23,5 und 28,3-29,5 Kalender-ka.

Die Dauer der Zeitscheiben ist kritisch für die Aussagekraft der Isolinienmuster. Bei zu großen Zeitintervallen können extrem kurze Ereignisse wie Schmelzwassereintrag und kurze Ventilationsminima im Tiefenwasser, die ja zur Diskussion stehen, herausgemittelt werden. Bei zu kurzen Zeitintervallen ist möglicherweise die Datenbasis zu unzuverlässig. Für klimatisch verhältnismäßig stabile Perioden wie das LGM ist die Länge des Zeitintervalls eher unkritisch. Für kurze Ereignisse wie die Jüngere Dryas und die Termination Ia-Abschmelzphase mußte die Größe des Zeitfensters auf wenige hundert bis 1000 Jahre begrenzt werden. Daher schwankt die Anzahl der Meßwerte in jedem Mittelwert. Im Allgemeinen sind es 2-3, maximal 8 Einzelmessungen, in Ausnahmefällen allerdings auch nur Einzelwerte (siehe Tabelle 6).

## 6.2. Holozän-Zeitscheiben 0-4, 7-8 und 9.25-9.8 ka

Generell fallen die  $\delta^{13}\text{C}$ -Isolinien in den holozänen Zeitscheiben 0-4, 7-8 und 9,25-9,8 ka von SE nach Westen hin ein und trennen C-isotopisch leichteres Wasser im Osten von schwerem im Westen. Die Absolutwerte reichen von  $>1.3\text{‰}$  bis  $<0.7\text{‰}$  (Abb. 13b, d und f). Nur westlich vom Reykjanes Rücken gingen die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte wieder auf  $0.3\text{‰}$ - $0.7\text{‰}$  zurück. In allen drei Zeitintervallen war das MOW bei 1100 m Wassertiefe (Kernstation SO75-26KI) mit ca.  $1.0\text{‰}$  gleichbleibend gut belüftet. Die wesentlichen Unterschiede zwischen den Isolinienmustern der drei Holozän-Zeitscheiben sind:

Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in der Zeitscheibe 9,8-9,25 ka reichen von  $0.52\text{‰}$  bei 4700 m Wassertiefe (Kernstation SU81-50) bis  $1.32\text{‰}$  bei 2200 m (Kernstation 17055). Besonders deutlich ist hier die Zunge hoher  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ( $>1.3\text{‰}$ ),

die von der Spitze des Rockall Plateaus bis an den Fuß des Reykjanes-Rückens heranreicht und vermutlich den Kern des NADW markiert, das über die Island-Färøer-Schwelle in den Nordatlantik strömt. Nach Osten, in Wassertiefen von ca. 2,5-3,5 km, schließt sich am Rockall-Plateau (ca. 20-22° W) eine Zone an, in der die Isolinien enggeschart annähernd saiger stehen (1,0 und 1,2 ‰ Isolinien) und wahrscheinlich die Grenze NADW/AABW anzeigen.

Im Zeitabschnitt (7-8ka) verändert sich das Isolinienmuster in einigen Teilen ein wenig. Die Zunge mit  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten  $>1,3$  ‰ ist in ihrer Mächtigkeit reduziert. Die 1 ‰-Isolinie rückt hingegen etwas tiefer, nach Südosten zum Fuß des Rockall-Plateaus. Augenfälligste Struktur ist eine wenige hundert Meter dicke Lage mit  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von unter 1 ‰ bei ca. 2,2-2,3 km Wassertiefe am Rockall-Plateau.

Das  $\delta^{13}\text{C}$ -Isolinienmuster für die Rezent-Zeitscheibe (0-4 ka) nimmt im Vergleich zu den beiden vorangehenden Zeitintervallen eine Zwischenposition ein. Die maximalen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von  $>1,3$  ‰ bilden weiterhin eine schwach nach Westen fallende dünne Lage, allerdings am MAR in 1800 statt 1800-2700 m Tiefe. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Minimum-Lage in 2,2 bis 3km Wassertiefe ist mit den wenigen Datenpunkten nicht mehr vom tieferen  $\delta^{13}\text{C}$ -Minimum abzugrenzen. Der  $\delta^{13}\text{C}$ -Gradient zwischen NADW und AABW ist nicht mehr so steil wie im Frühholozän.

Auch die drei  $\delta^{18}\text{O}$ -Isolinienprofile des Holozäns sind sich prinzipiell ähnlich (Abb. 13 c, e und g). Das MOW bei Kronzeugenkern SO75-26KI ist durchweg um mehr als 0,6-1 ‰ leichter als bei den übrigen Kernstationen etwa gleicher Wassertiefe, wohl eine Frage der spezifisch höheren Temperaturen (McCartney, 1991).

Im Zeitintervall 9,25-9,8 ka bilden die höchsten  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ( $>3,6$  ‰) eine mächtige "Doppelzunge" ausgehend von der Ostflanke des Rockall-Plateaus in 2,1 und 3,2 km Tiefe. Nach oben, unten und Westen nehmen die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte allseits ab und erreichen am MAR in 1800 m den niedrigsten Wert von 2,95 ‰ (Kern 17054). Ähnlich dem  $\delta^{13}\text{C}$ -Isolinienmuster verlaufen die O-Isotopengrenzlinien (3,4 und 3,6 ‰) am Rockall Plateau bei 2,3-3,8 km Wassertiefe enggeschart und annähernd vertikal.

In der Zeitscheibe 7-8 ka (Abb. 13 e) schrumpft das mächtige  $\delta^{18}\text{O}$ -Maximum vor 9,25-9,8 ka auf eine dünne Lage (maximal 3,8 ‰) in 2,1 bis 2,2 km Wassertiefe am Rockall-Plateau zusammen, eine Lage, die sich mit einem örtlichen  $\delta^{13}\text{C}$ -Minimum nahezu deckt. In 1,1 km Wassertiefe liegt am Rockall-Plateau das  $\delta^{18}\text{O}$ -Minimum von 2,9 ‰ (Kern V29-198); es ist noch immer um 0,6 ‰ höher als der Wert des MOW (2,28 ‰, Kern SO75-26KI).

In der Rezent-Zeitscheibe (0-4 ka) sind die  $\delta^{18}\text{O}$ -Verteilungsmuster im NE-Atlantik im Prinzip ähnlich wie vor 7-8 ka. Wieder bildet ein Maximalwert von 3,62 ‰ bei ca. 2,2 km Wassertiefe am Rockall-Plateau (Kern 23414) den Kern einer Zunge schwerer  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte Richtung Westen. Am MAR und oberen Rockall-Plateau, desgleichen an seinem Fuß liegen leichtere Werte.

#### 6.4. Zeitscheibe Jüngere Dryas

In der Jüngeren-Dryas-Zeitscheibe 12,3-12,8 ka reichen die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von 1,31 ‰ (Kern V 29-193 bei 1300 m) bis auf 0,53 ‰ (Kern 23416 bei 3600 m), ein Isolinienmuster ähnlich dem Holozän (Abb. 13 h). Hohe Werte von  $>1$  ‰ breiten sich vom Rockall-Plateau in einer breiten Zunge nach Westen aus und stoßen in der Gardar Drift bis in ca. 2,5 km Wassertiefe vor. Unterhalb schließt sich ein breites Band mit C-Isotopenverhältnissen von 0,8-1,0 ‰ an. In den Kernstationen vom Rockall-Plateau-Fuß ist eine Abnahme der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte nach Osten angedeutet. Auch

im MOW-Kronzeugen-Kern SO75-26KI werden mit 0,91 ‰ nahezu holozäne Werte erreicht. Westlich des Reykjanes Rückens folgen so wie im Holozän extrem niedrige  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte (0,6 ‰).

Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte reichen - ohne Korrektur für den Eiseffekt - von 4,34 ‰ (Kernstation DSDP 552 bei 2300 m) auf 2,91 ‰ in MOW-Kern SO75-26KI (Abb. i). Allgemein nehmen die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von relativ niedrigen Werten (<3,6 ‰) im Zwischenwasserstockwerk am Reykjanes-Rücken nach Osten hin zu. Maximale Werte von >4,2 ‰ werden in einer schmalen, etwa horizontalen Zunge erreicht, die mit ihrem Kern bei ca. 2,2-2,3 km Wassertiefe das Rockall-Plateau umfließt, außerdem am oberen Rockall-Plateau bei 1100-1300 m.

### 6.3. Glazial: Zeitscheiben: 18,3-19,3 ka (LGM) und 21,5-23,5 ka

Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Isolinienmuster der Zeitscheiben 18,3-19,3 ka (LGM) und 21,5-23,5 ka weichen auf dreierlei Weise von den holozänen Mustern deutlich ab. Einmal werden in Wassertiefen von ca. 1-1,5 km sehr hohe  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von mehr als 1,7 ‰ erreicht, zum anderen liegen im bodennahen Bereich die Werte sehr niedrig, bei weniger als 0,2 ‰ (Abb. 13 l und n). Im allgemeinen sind -im Vergleich zum Holozän- die Isolinien enger geschart und fallen etwas flacher nach Westen ein. Drittens sind schließlich die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte westlich vom Reykjanes-Rücken mit 1,1-1,3 ‰ relativ hoch, ganz im Gegensatz zum Holozän.

Im späten LGM (18,3-19,3 ka) zieht die 1,7 ‰-Grenze der C-Isotopen von 1500 m Wassertiefe am Reykjanes-Rücken auf 1100 m am Rockall Plateau hinauf (1,74 ‰ in Kern BOFS 17K; Abb. 13 l). Im Südosten, bei Kernstation SO75-26KI, der Kronzeugenposition für das MOW, werden hingegen bei gleicher Wassertiefe lediglich 1,23 ‰ erreicht. Die enggeschartten Isolinien (1,2 und 0,9 ‰) in 2,0-2,4 km Wassertiefe am Rockall-Plateau deuten auf zwei unterschiedlich ventilierte Wassermassen, die hier aufeinander stießen, mit im SE annähernd horizontaler Grenzfläche. Darunter folgen weitständig die Isolinien 0,6 und 0,4 ‰, die an ihrem Westende steil abtauchen und vermutlich die schlecht ventilierte Bodenwassermasse des AABW umreißen.

Im vorhergehenden Zeitintervall 21,5-23,5 ka weicht das  $\delta^{13}\text{C}$ -Isolinienmuster in folgenden Punkten ab: An der westlichen Kernstation SO82-5 steigen die Maximalwerte auf 1,75 ‰, vor Portugal, an der MOW-Kronzeugenstation SO75-26KI auf 1,69 ‰ (Abb. 13 n). Am Rockall-Plateau werden hingegen kaum mehr als 1,5 ‰ erreicht. Die Isolinien fallen im allgemeinen etwas stärker nach Westen ein. Vor 21,5-23,5 ka weisen nicht die Isolinien 1,2-0,9 ‰ sondern die Linien 0,8-0,4 ‰ die engste Scharung auf, sodaß die Zone mit dem größten  $\delta^{13}\text{C}$ -Gradienten mehr als 300 m tiefer rückt. Anders als im Holozän und der Jüngeren Dryas sind die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in beiden LGM-Intervallen westlich und östlich des Reykjanes-Rückens etwa gleich hoch.

Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Gradienten waren im späten LGM und der Zeitscheibe 21,5-23,5 ka klein (ca. 4,6-5,3 ‰ respektive ca. 4,4-5,2 ‰, Abb. 13 m und o). Nur das glaziale MOW (Kern SO75-26KI) war um mehr als 0,9 ‰ leichter als das Zwischenwasser gleicher Wassertiefe im Nordwesten. Vor 21,5-23,5 ka zeigte sich eine dünne Lage mit  $\delta^{18}\text{O}$ -Maxima von >5 ‰ am oberen Rockall-Plateauhang entlang, die mit der Zone engständiger  $\delta^{13}\text{C}$ -Grenzlinien zusammenfällt und sich vor 18,3-19,3 ka auf den Bereich von 1,5-2,4 km Wassertiefe ausweitete (5,0-5,45 ‰). Möglicherweise ist hier ein Wasserkörper von maximaler Dichte angedeutet.

Tabelle 6. Gemittelte  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von *C. wuellerstorfi* der E-W-Transekte quer über den NE-Atlantik für 8 Zeitscheiben.

Table 6.  $\delta^{13}\text{C}$ - and  $\delta^{18}\text{O}$ -values of *C. wuellerstorfi* in the paleoceanographic transects across the NE-Atlantic, averaged for 8 time slices.

δ18O-δ13C-Mittelwerte der E-W-Transekte																
Zeitscheibe ->	0-4 ka		7-8 ka		9,25-9,8 ka		12,3-12,8 ka		16,9-17,1 ka		18,3-19,3ka		21,5-23,5 ka		28,3-29,5ka	
Kern	δ18O	δ13C	δ18O	δ13C	δ18O	δ13C	δ18O	δ13C	δ18O	δ13C	δ18O	δ13C	δ18O	δ13C	δ18O	δ13C
17045	3.25	0.79	3.3	0.77	3.52	0.85			4.58	0.02	5.07	0.26	5.07	0.13	4.48	0.28
17048	3.12	1.28	3.3	1.03	3.2	1.14	3.7	1.	3.65	0.36	5.23	1.26	4.24	1.08	4.64	1.04
17049	3.32	0.73	3.37	0.99	3.24	0.99	3.88	0.81	4.54	0.27	5.09	0.51	4.84	0.58	4.78	0.6
17050									3.8	0.67						
17051	3.22	1.02	3.33	0.67	3.56	1.04	4.14	0.55	4.2	0.47	5.07	0.83	4.87	0.92	4.86	1.07
17054	3.32	1.32	3.05	1.26	2.95	1.31	3.97	1.08								
23414	3.62	1.13	3.62	0.87	3.48	1.08	4.32	0.84	4.39	0.69	5.27	0.93	4.71	0.96	4.77	1.1
23415	3.28	1.1	3.39	1.07	3.46	0.94	4.07	0.85	4.39	0.16	4.99	0.64	4.99	0.63	4.59	0.85
23416	3.37	0.72	3.46	0.78	3.47	0.8	4.27	0.53	4.66	0.08	5.15	0.38			4.67	0.45
23417			3.35	0.9	3.27	0.84	3.83	0.57	4.88	0.12	5.15	0.12	5.21	0.15	4.66	0.
23418	3.28	1.06	3.14	1.08	3.28	0.92	4.03	0.65			5.13	0.4	4.87	0.32	4.62	0.77
23419	2.97	1.28	3.04	1.29	3.05	1.26					5.31	1.54	5.14	1.55	4.82	1.54
17055/1	3.11	1.23	3.22	1.32	3.25	1.31										
17055/2	3.19	1.24			3.25	1.32	3.83	0.86	4.64	0.26	5.09	0.97	5.14	1.06	4.79	0.89
BOFS 14k											4.9	1.23	5.1	1.39		
BOFS17K	3.07	1.14	3.18	1.2	3.13	1.22	4.49	1.32	3.5	1.17	4.87	1.74	4.57	1.52		
CH73-139c	3.31	0.93	3.46	0.81	3.01	0.73	4.12	0.89	4.78	0.41	5.45	0.61	5.13	0.7	5.14	0.47
DSDP 552			3.74	1.25	3.39	1.29	4.34	1.			4.74	0.94	4.64	1.05	4.43	1.24
NA87-22	3.2	1.07	3.39	0.94	3.54	0.92	4.04	0.96	4.56	0.3	5.09	0.7	5.06	0.86	4.83	0.83
SO75-26KL	2.1	0.94	2.28	1.03	2.23	1.	2.91	0.91	3.72	0.74	4.15	1.23	4.01	1.69	3.72	1.34
SO82-5					3.01	1.15	3.48	0.89			5.06	1.7	4.98	1.75	4.41	1.37
SU81-44			2.8	1.05			4.08	0.66			4.79	1.06				
SU81-45											4.51	1.1				
SU81-50	3.31	0.7	3.46	0.6	3.36	0.52										
V23-193	2.93	1.32	2.9	0.85	3.13	1.28	4.08	1.31					4.42	1.5		
V23-81	3.37	0.94	3.8	1.14	3.77	0.96	4.24	0.83	4.32	0.19	5.19	0.61	4.49	0.08	4.66	0.7
V28-14			3.29	0.69	3.2	0.32	3.66	0.59			5.18	1.13	4.98	1.28	4.45	0.49
V28-73							3.85	1.11			5.03	1.26	4.69	1.08		
V29-198	2.89	1.09									4.18	1.7				

## 6.5. Zeitscheibe 16,9-17,1 ka

Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte sind in der "Schmelzwasser"-Zeitscheibe 16,9-17,1 ka, die auf das LGM unmittelbar folgt, generell sehr niedrig (0,69-0,02 ‰). Der schwerste Werte liegt am S-Hang des Rockall-Plateaus bei ca. 1,1 bis 2,2 km Wassertiefe (hier Kern 23414, mit guter zeitlicher Auflösung). Darunter, bis ca. 2,5 km sind die Isolinien 0,5 ‰ bis 0,2 ‰ engständig geschart (Abb. 13 j). Bei MOW-Kern SO75-26KI findet sich mit 0,7 ‰ ein Wert, der deutlich niedriger ist als in gleicher Wassertiefe am Rockall-Plateau (1,1 ‰).

Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte reichen von 3,50 ‰ am Rockall-Plateauhang bei 1100 m (Kern BOFS 17K) bis auf 4,88 ‰ in 3850 m Wassertiefe bei Kernstation 23417 (Abb. 13 k). Eng gescharte Isolinien und ein leichtes Zwischenmaximum (4,56-4,78 ‰) bei 2400 m umrahmen eine Zunge von leichteren  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten an der Basis des Rockall-Plateaus.

## 6.6. Zeitscheibe 28,3-29,5 ka

Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Zeitintervall 28,3-29,5 ka (Abb. 13 p), dem Ende von Stadium 3, reichen von 1,54 ‰ im Zwischenwasser am Rockall-Plateau bei 1500 m (Einzelwert >1,7 ‰, Kern 23419) bis 0,0 ‰ im Bodenwasser bei 3850 m (Kern 23417). Westwärts taucht eine Zunge mit  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von mehr als 1,2 ‰ bis ca. 2,4 km Tiefe im Bereich der Gardar-Drift ab. Westlich vom Reykjanes Rücken ist der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert ähnlich wie im Holozän sehr niedrig (0,5 ‰). Die Isolinien 1,2-0,8 ‰ fallen, wie in den meisten anderen Zeitscheiben, am S-Hang des Rockall-Plateaus bei ca. 1,8 bis 3 km Wassertiefe Richtung Westen. In noch größeren Tiefen verflachen die Isolinien. Vor Portugal weist Kern SO75-26KI mit 1,34 ‰ auf ein gut ventiliertes MOW. Der Sedimentkern SO82-5, in dessen Nähe wohl die NADW-Quelle in den hochglazialen Zeitscheiben lag, zeigt am Reykjanes Rücken mit 1,37 ‰ auf ein Zwischenwasser, das wie das MOW schlechter als das Wasser am Rockall Plateau ventiliert war (Abb. 13 p).

Die höchsten  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (Abb. 13 q) von maximal 4,87 ‰ (Kern Ch73-139c) tauchen als mächtige Schicht von >4,7 ‰ vom oberen Rockall-Plateau mit ca. 45° nach Westen, umgeben von leichteren Werten. Am Reykjanes-Rücken und am Fuß des Rockall Plateaus bei ca. 3,8 km Wassertiefe unterschreiten diese die 4,5 ‰-Grenze. Im MOW-Zeugen-Kern SO75-26KI vor Portugal liegen die O-Isotopenwerte um ca. 1,1 ‰ deutlich unter den Meßwerten am Rockall Plateau bei gleicher Wassertiefe und 0,7 ‰ niedriger als am Reykjanes Rücken.



## 7. Diskussion

### 7.1. Zu den Grenzen der Aussagekraft stabiler Isotopenwerte in hochauflösenden Zeitserien

Das vorliegende Kapitel soll die zeitlich-räumliche Veränderlichkeit des Salzförderbandes, speziell die unterschiedlichen Ursprungsgebiete der einzelnen Tiefen- und Zwischenwassermassen diskutieren. Für diese Frage werden meist  $\delta^{18}\text{O}/\delta^{13}\text{C}$ -Werte von *C. wuellerstorfi* als die brauchbarsten Anzeiger für Ventilation und Temperatur/Salinitätswerte der Wassermassen herangezogen (Broecker & Peng, 1982; Curry *et al.*, 1988; Duplessy, 1982; Duplessy *et al.*, 1988a; Duplessy *et al.*, 1984.; Mackensen *et al.*, 1994, McCorkle & Fairbanks, 1994, Sarinthein *et al.*, 1994; Zahn, 1986; Zahn *et al.*, 1987). Allerdings könnten folgende Probleme auftreten:

#### **Problem 1: $\delta^{13}\text{C}$ -Kurven im Vergleich zu Cd/Ca-Kurven aus benthischen Foraminiferen-**

Cd/Ca-Werte korrelieren im allgemeinen wie die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte mit dem  $\text{PO}_4$ -Gehalt im Ozean (Boyle, 1986). Folglich müßte sich in parallelen  $\delta^{13}\text{C}$ - und Cd/Ca-Zeitserien die Ventilationsgeschichte gleichsinnig abbilden. Jedoch zeigen solche Zeitserien aus dem Südozean im letzten Glazial gegenläufige Trends (u.a. Boyle, 1992). Auch wenn die Ursachen für diese Diskrepanzen bislang unklar sind, deuten diese Unterschiede *per se* darauf, daß  $\delta^{13}\text{C}$ - und/oder Cd/Ca-Werte den  $\text{PO}_4$ -Gehalt und somit auch die Ventilation nicht immer vertrauenswürdig wiedergeben (Boyle, 1992). Folglich würde eventuell die Aussagekraft der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als Anzeiger der Nähe von Tiefenwasserquellen erheblich eingeschränkt (Boyle, 1992).

Heute finden sich in den Bildungsgebieten für Tiefenwasser in der NGS oberflächennahe  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von 1,7-1,85 ‰ (Weinelt, 1993). Im vorliegenden Datensatz liegen die höchsten  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des LGM von bei 1,7-1,8 ‰ in benthischen Foraminiferen aus Wassertiefen von 1,1-1,4 km (vgl. Sarinthein *et al.*, 1994). Mit Blick auf heute können also solche Werte vollständig mit der großen Nähe zu einer glazialen Konvektion von Tiefenwasser erklärt werden. Außerdem verlaufen im N-Atlantik die Cd/Ca- und  $\delta^{13}\text{C}$ -Kurven im wesentlichen parallel (Bertram *et al.*, 1995; Boyle, 1992). Hier sind daher die oben genannten Probleme bei der Deutung der vorliegenden  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte wohl eher klein.

#### **Problem 2: Kontinentaler Kohlenstoffeffekt auf ozeanische $\delta^{13}\text{C}$ -Werte-**

Shackleton (1977) postulierte erstmals, daß große Mengen von isotopisch leichtem organischen Kohlenstoff im Glazial vom Kontinent ins Meer verlagert worden seien. Dies hätte dort zu einer globalen Abnahme der präformierten Nährstoffe und der benthischen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte generell um 0,3-0,46 ‰ geführt (vgl. auch Boyle & Keigwin, 1985/86; Curry *et al.*, 1988; Duplessy *et al.*, 1988a), ein Betrag der den glazialen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten beim Vergleich mit rezenten Daten wieder zugerechnet werden sollte. Für die Deutung der vorliegenden Befunde ergeben sich allerdings folgende Gesichtspunkte:

1) Für die Isolinienmuster der einzelnen Zeitscheiben ist ein solcher Effekt ohnehin unerheblich, da er gleichermaßen alle Werte in einem Transekt betrifft und somit die Gradienten nicht beeinflußt.

2) Die vorliegenden E-W-Transekte (Abb. 13) zeigen zweierlei: a) Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Geschichte der verschiedenen Wassertiefenstockwerke ist uneinheitlich. Bei 1-1,5 km waren die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im LGM sogar um ca. 0,4 ‰ höher

als im holozänen Mittel, unterhalb von 2,8 km hingegen um  $0,5 < 1 \text{ ‰}$  niedriger (Abb. 13 und 11). b) In allen Zeitintervallen zeigen sich neben den vertikalen vor allem große horizontale Gradienten (in N-S-Richtung: vgl. Sarnthein *et al.*, 1994) als Folge der "Alterung" der nordatlantischen Tiefenwassermassen durch kontinuierliche Aufnahme von remineralisierten organischen Partikeln und durch komplex beigemengte "ältere" Wassermassen anderer Herkunft. Die räumliche Verteilung von gut und schlecht ventilierten Wassermassen besagt also, daß (in Übereinstimmung mit Sarnthein *et al.*, 1994) die Konzentration "präformierter" Nährstoffe - zu sehen an den hohen benthischen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von  $1,7\text{--}1,8 \text{ ‰}$  - nahe dem Ursprungsgebiet der eiszeitlichen Tiefenwassermassen ziemlich exakt genau so hoch war wie heute. Der Nährstofftransfer Kontinent-Ozean sollte also die Initialzusammensetzung der Tiefenwässer nicht erkennbar beeinflussen haben.

3) Der kontinentale Kohlenstoffeffekt auf ozeanischen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte wäre mit  $0,32 \text{ ‰}$  (Duplessy *et al.*, 1988) im Vergleich zum durchschnittlichen nordatlantischen Glazial-Holozän-Hub von ca.  $0,7\text{--}0,8 \text{ ‰}$   $\delta^{13}\text{C}$  (Abb. 8, 14; Bertram *et al.*, 1995; Oppo & Fairbanks, 1990) relativ groß. Korrigierte man unsere eiszeitlichen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte um die geschätzte  $0,32 \text{ ‰}$ -Anomalie, so lägen diese Werte in Wassertiefen von  $>2 \text{ km}$  nur um  $0 < 0,45 \text{ ‰}$  niedriger, bei  $1,1\text{--}1,5 \text{ km}$  Tiefe hingegen um ca.  $1 \text{ ‰}$  höher als heute. Bei Kern BOFS 17K erreichten sie sogar max.  $2,1 \text{ ‰}$  (Abb. 13) im Vergleich zu  $1,7$  bis  $1,8 \text{ ‰}$  an der heutigen Oberfläche und maximal  $1,5 \text{ ‰}$  im heutigen Tiefenwasser der Grönland See (Vogelsang, 1990). Hieraus läßt sich zwar kein abschließendes Urteil über die mögliche Rolle des kontinentalen C-Transfers auf glaziale  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bilden. Auf der anderen Seite deutet allerdings der in der Eiszeit größere Altersunterschied zwischen Oberflächen und Tiefenwasser (Broecker *et al.*, 1988; Shackleton *et al.*, 1988) auf eine längere Verweildauer des ozeanischen Tiefenwassers generell, welche die vorgefundenen  $\delta^{13}\text{C}$ -Differenzen voll erklären vermag. Die benthischen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im N-Atlantik, die um (korrigierte)  $0\text{--}0,5 \text{ ‰}$  abnehmen, stehen mit dem zweiten Erklärungsmodell aber nicht in direkten Widerspruch.

4) Die Größe des Kohlenstofftransfers seit dem Ende der letzten Eiszeit ist bisher nicht genau quantifizierbar, die Schätzwerte reichen von 400 bis auf 600 Gigatonnen (Kern & Schlesinger, 1992; Prentice & Sarnthein, 1993; Prentice & Fung, 1990; Prentice *et al.*, 1992). Selbst die Schätzwerte für die Menge organischen Kohlenstoffs, die heute auf den Kontinenten gespeichert ist, sind mit großen Unschärfen verknüpft (Dixon *et al.*, 1994). Wichtig ist, daß C-isotopisch leichtes organisches Material vom Kontinent im Ozean nahezu inert ist (Tissot & Welte, 1984) und ein Transfer daher das Meerwasser vermutlich isotopisch nur kaum verändert haben kann.

Auch aus einem anderen Blickwinkel ergibt sich eine mögliche Beziehung zwischen dem Kohlenstoff-Transfer vom Land in den Ozean und der globalen  $\delta^{13}\text{C}$ -Reduktion im Ozean. Gasblasen aus antarktischen Eiskernen zeigen nämlich im letzten Glazial im Einklang mit Duplessy *et al.* (1988) ca.  $0,3 \text{ ‰}$  niedrigere atmosphärische  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als heute (Leuenberger *et al.*, 1992). Auch in terrestrischen C<sub>4</sub>-Pflanzen fanden sich sogar um ca.  $0,7 \text{ ‰}$  niedrigere  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte (Marino *et al.*, 1992). Beide Befunde deuten also etwa in die gleiche Richtung wie die Befunde aus dem Ozean, auf eine Rolle des Transfers von kontinentalem C-Transfer.

### **Problem 3: Einfluß von Bioturbation auf Isotopenkurven-**

Bioturbate Vermischung könnte bei unterschiedlichen Sedimentationsraten die überlieferten Isotopenkurven unterschiedlich verzerrt haben. Beispielsweise werden bei einer niedrigen Sedimentationsrate von  $2 \text{ cm}/1000 \text{ Jahre}$

und 10 cm Bioturbationshub ca. 5000 Jahre, bei einer Rate von 10 cm/1000 Jahre lediglich 1000 Jahre "homogen" durchmischt. Mit zunehmender Sedimentationsrate steigt die Amplitude des überlieferten Signals (Trauth, 1995).

Im Einzelnen wurde die Bioturbation für die Isotopenkurven dieser Arbeit nur in einem einzigen Fall dekonvolviert (Kern 17049; Trauth, 1995). Dabei zeigt sich beispielsweise, daß der Bioturbationshub von *G. bulloides* bei Termination Ia kernabwärts beachtliche 14 cm betragen hat, b) ein  $\delta^{18}\text{O}$ -Maximum in der Jüngeren Dryas von vielleicht ca. 0,4 ‰ nahezu vollständig weggedämpft worden sein könnte und c) erwartungsgemäß kurze Isotopenereignisse allgemein verzerrter überliefert werden als längerfristige. Generell liegen die  $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte im späten LGM aus Kernen mit niedriger Sedimentationsrate (23419, V29-198, BOFS 17K, ca. 2,6 cm/ka) mit >1,7 ‰ (vgl. Abb. 14) exakt gleich wie bei "Nachbar"- Kern SO82-5 - im gleichen Wasserstockwerk - mit einer hohen Sedimentationsrate von 8,2 cm/ka, sodaß die absolute Höhe dieser Mittelwerte vielleicht wenig durch Verwühlung beeinträchtigt zu sein erscheint.

Wie die Sedimentverwühlung sich insgesamt auf die vorliegenden Isotopenkurven ausgewirkt hat, kann nur vermutet werden. Weil der Bioturbationshub mit abnehmenden Corg-Fluß generell fällt (Trauth, 1995), ließe sich mit Schätzwerten für solche Flußraten der Verwühleffekt bereits grob einschätzen. Allerdings sind die für das Glazial rekonstruierten Corg-Flüsse am Rockall Plateau widersprüchlich. Bei Kern 17049 zeigen sich z.B. im Glazial höhere Flußraten als heute (vgl. Trauth, 1995). Diese wurden mit Hilfe von planktischen Foraminiferen rekonstruiert und lassen auf eine damals höhere Oberflächenproduktivität schließen. Umgekehrt deuten aber geringe glaziale Konzentrationen von benthischen Foraminiferen, deren Häufigkeit im allgemeinen mit dem Corg-Fluß eher steigt, darauf hin, daß die Oberflächenproduktivität damals eher niedrig war (Thomas *et al.*, 1995).

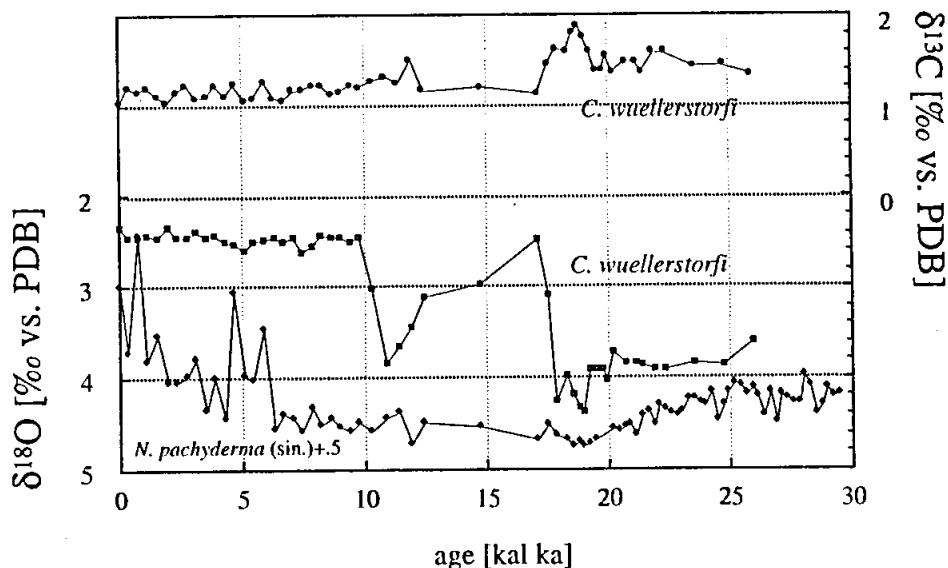


Abb. 14.  $\delta^{18}\text{O}$ -/ $\delta^{13}\text{C}$ -Kurven von *N. pachyderma* (sin.) und *C. wuellerstorfi* aus Kern BOFS 17k, dargestellt gegen Kernalter. Daten aus Bertram *et al.* (1995) und Maslin (1993).

Fig. 14.  $\delta^{18}\text{O}$ - and  $\delta^{13}\text{C}$ -records of *N. pachyderma* (sin.) und *C. wuellerstorfi* in core BOFS 17k, plotted vs. core age. Data from Bertram *et al.* (1995) and Maslin (1993).



Der Abkömmling des AABW unterhalb von 3,5 km Wassertiefe ist extrem kalt, niedrig salin und hat niedrige O-Gehalte (Tab. 7; vgl. Abb. 16; Lonsdale & Hollister, 1979; McCartney, 1991). Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Wasser liegen heute bei  $<0,8\text{‰}$  (Abb. 13 Zeitscheibe 0–4 ka; Abb. 17) und beeinflussen offenbar durch Diffusion das unmittelbar hangende NADW.

Nur ganz am Ostrand dringt im Zwischenwasserstockwerk das warme, hochsaline und verhältnismäßig gut ventilierte MOW nach Norden vor (Tab. 7; Reid & Lynn, 1979), mit  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im Wasser von bis zu  $1,3\text{‰}$  vor Gibraltar (Sarnthein *et al.*, 1994). Am Rockall-Plateau Gipfel finden sich schwache Einflüsse der tiefreichenden Nordatlantik Drift (NAD) mit ihren relativ hohen Salzgehalten und Temperaturen bei zugleich niedrigen O-Gehalten (Tab. 7; McCartney, 1991).

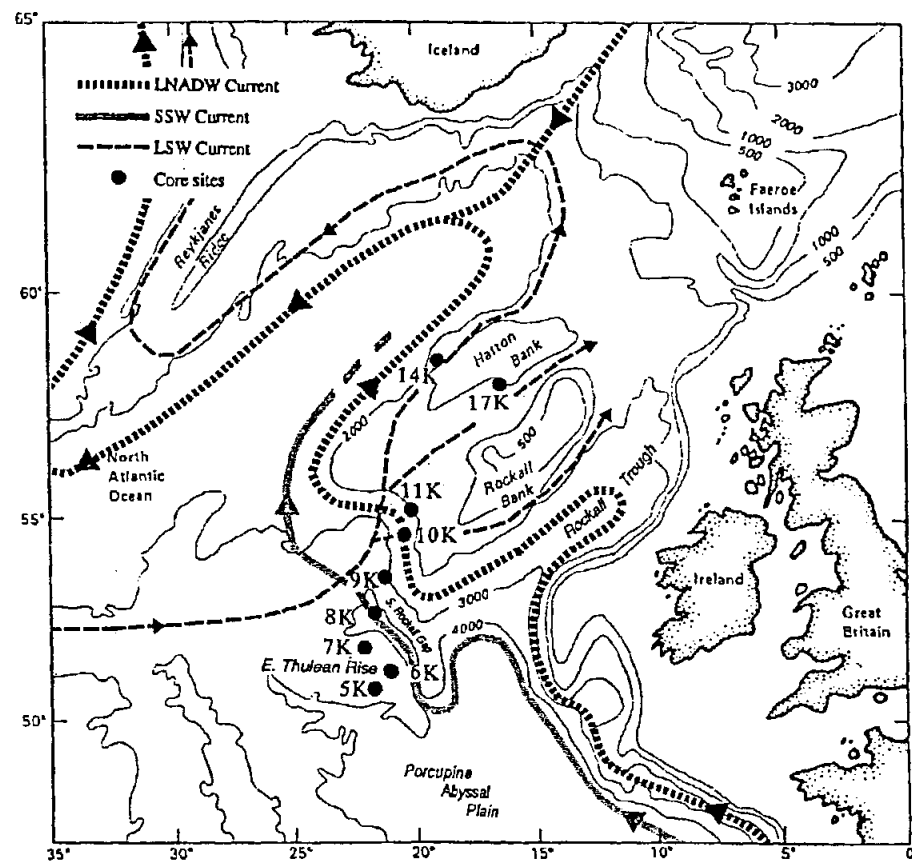


Abb. 15. Tiefenwasserströme und englische Kernpositionen (BOFS 5K–17K) im NE-Atlantik aus Manighetti & McCave (1995): LNADW=Lower North Atlantic Deep Water, SSW=Southern Source Water, LSW=Labrador Sea Water.

Fig. 15. Deepwater currents in the NE-Atlantic and british core positions (BOFS 5K–17K) from Manighetti & McCave (1995): LNADW=Lower North Atlantic Deep Water, SSW=Southern Source Water, LSW=Labrador Sea Water.

Im  $\delta^{18}\text{O}/\delta^{13}\text{C}$ -Felderdiagramm von Abb. 19 gruppieren sich die rezenten Isotopenwerte von *C. wuellerstorfi* (Zeitscheibe 0-4 ka) um vier bis fünf Haupt-Wassermassen, das AABW, Unteres und Oberes NADW, NAD (schwach erkennbar) und das MOW (Abb. 19), wie auch in Tabelle 7 aufgezählt. An der Grenze von AABW zu Unterem NADW zeigt sich ein breiter Mischbereich. Beim Übergang von Unterem zu Oberem NADW liegt eine schmale Mischzone. Kern V29-198 und Kern BOFS 17K, beide aus Wassertiefen bei 1100 m, erscheinen vom schlecht ventilierten NAD zu etwas niedrigeren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten hin verändert, erreichen aber nicht ganz die niedrigen Werte, wie sie in der Wassersäule gemessen wurden (Tab. 7). Im "eindimensionalen" Vertikalprofil am Rockall Plateau (vgl. Kap. 5.7; Abb. 10 und 13a) zeigt sich der vertikale Aufbau der Wassersäule vielleicht noch deutlicher. Wesentliche Merkmale des  $\delta^{13}\text{C}$ -Profils für die Rezent-Zeitscheibe sind, von unten nach oben, a) die steigende Ventilation - vermutlich mischungsbedingt - vom AABW über das Untere zum Oberen NADW, und b) der in den beiden flachsten Kernen andeutete Einfluß von geringer Ventilation im NAD. Hauptmerkmal im  $\delta^{18}\text{O}$ -Profil ist ein markantes Maximum von  $>3,6\text{‰}$  bei ca 2,2 km Wassertiefe im obersten Unterem NADW, ein Merkmal das sich auch in anderen Zeitscheiben zeigt, dort z.T. noch deutlicher, und mit einem örtlichen Salzgehaltsmaximum zusammenhängen muß (Abb. 16).

Für das Verständnis des Wassermassenaustausches zwischen NGS und N-Atlantik stellt sich schließlich die Frage, wie der Überstrom über die Dänemarkstraße in den  $\delta^{18}\text{O}/\delta^{13}\text{C}$ -Werten von *C. wuellerstorfi* wohl abgebildet ist. Interessanterweise zeigt sich hier nämlich bei Kern V28-14, direkt am Überstrom aus der NGS zwischen Holozän und Glazial ein besonders deutlicher Ventilationssprung von niederen zu hohen Werten. Leider fehlen die Vergleichswerte für die Rezent-Zeitscheibe.

Zusammenfassend zeigt sich, daß AABW von Unterem NADW recht gut, das Untere vom Oberen NADW kaum mit den  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von *C. wuellerstorfi* abgegrenzt werden kann. Klar identifizierbar ist wiederum das MOW.

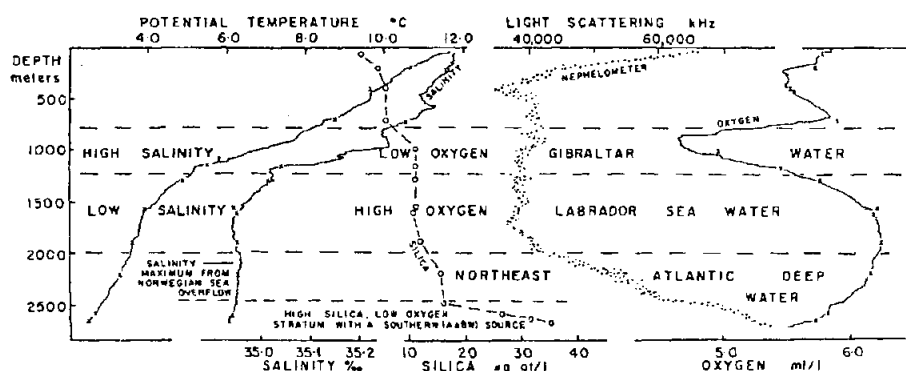


Abb. 16. Profile des Salzgehaltes, der Temperatur-, der O- und Nährstoffgehalte und der Wassertrübung im Meerwasser am Rockall Plateau (Lonsdale & Hollister, 1979)

Fig. 16. Salinity, temperature and oxygen, nutrients and turbidity in a modern sea water profile at Rockall Plateau (Lonsdale & Hollister, 1979)

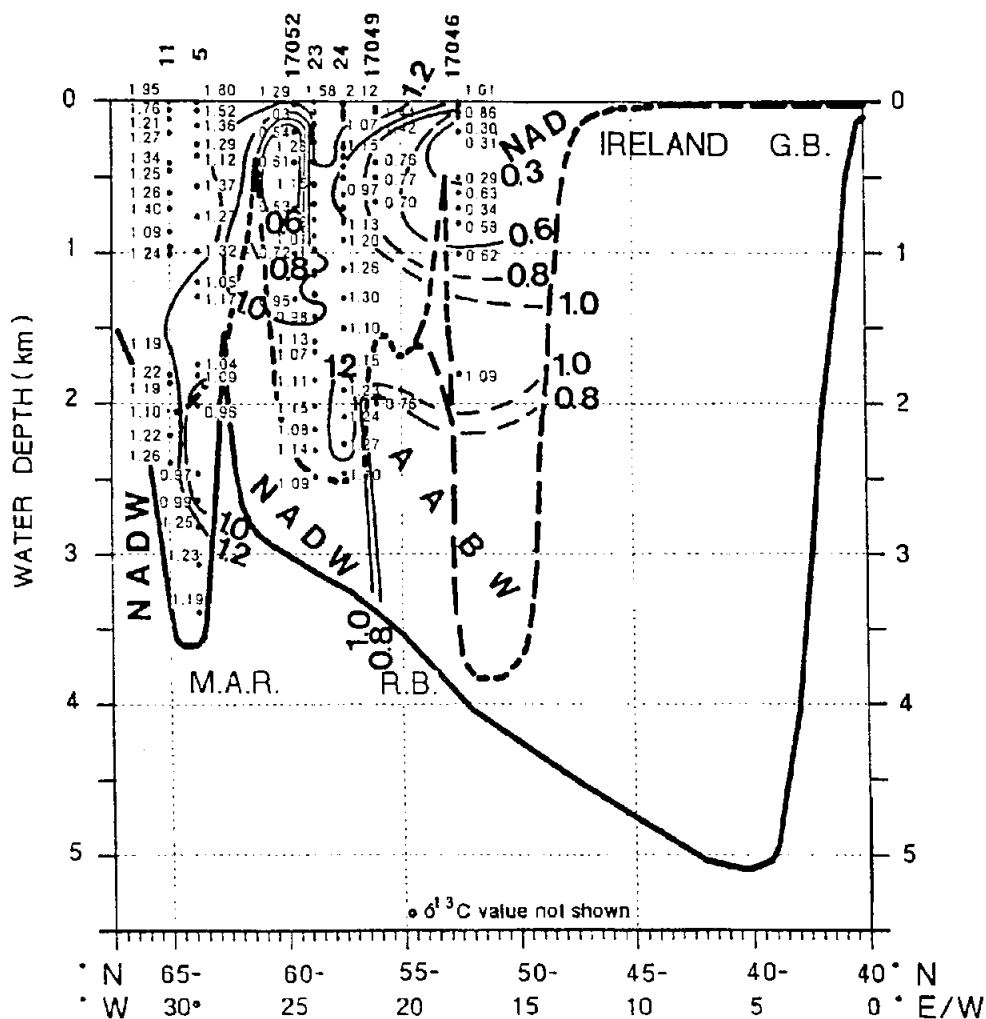


Abb. 17. Vertikales  $\delta^{13}\text{C}$ -Transect quer über den heutigen NE-Atlantik; aus Sarnthein *et al.* (1994)

Fig. 17. Vertical NW-SE running  $\delta^{13}\text{C}$ -transect across the modern northeast Atlantic; from Sarnthein *et al.* (1994)

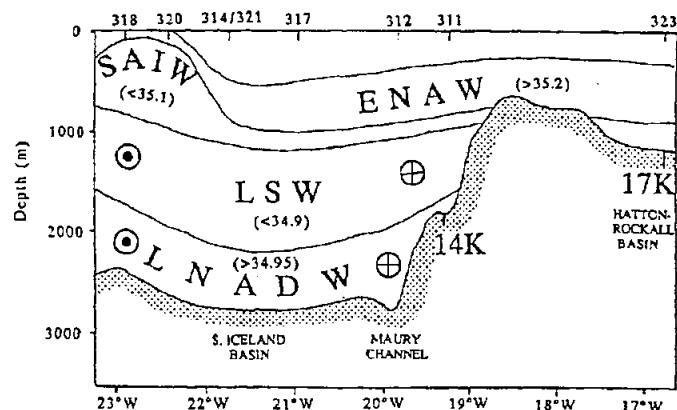


Abb. 18. Zwischen- und Tiefenwassermassen in einem E-W-Vertikaltransect quer über den NE-Atlantik; Schema aus Manighetti & McCave (1995). LSW=Labrador Sea Water; ENADW=East North Atlantic Deep Water; LNADW=Lower North Atlantic Deep Water; SAIW=South Atlantic Intermediate Water

Fig. 18. Schematic vertical E-W transect of northeast Atlantic intermediate and deepwater masses; from Manighetti & McCave (1995). LSW=Labrador Sea Water; ENADW=East North Atlantic Deep Water; LNADW=Lower North Atlantic Deep Water; SAIW=South Atlantic Intermediate Water

### 7.3. Holozäne Klimavariabilität

In Kapitel 5.7 wurde gezeigt, daß das Salzförderband im Holozän nur kleineren Schwankungen unterworfen war. Im Zusammenhang mit dieser Variabilität sind bei den E-W-Transekten folgende Fragen wichtig:

- 1.) Wie und in welchen Dimensionen sich die Stärke des Salzförderbandes im Holozän änderte, eine Frage die bereits in Kapitel 5.7 diskutiert wurde;
- 2.) Welche Quelle des NADW im Holozän am deutlichsten schwankte.

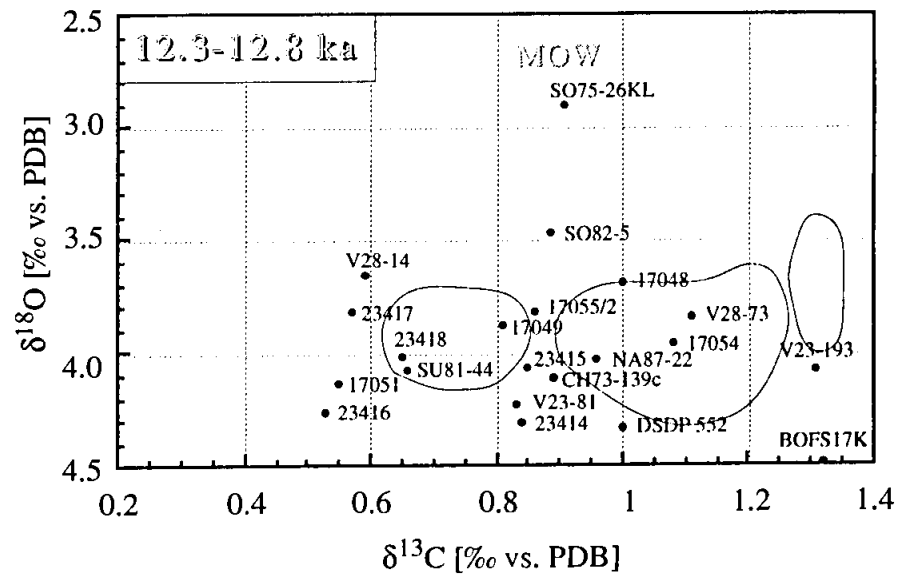
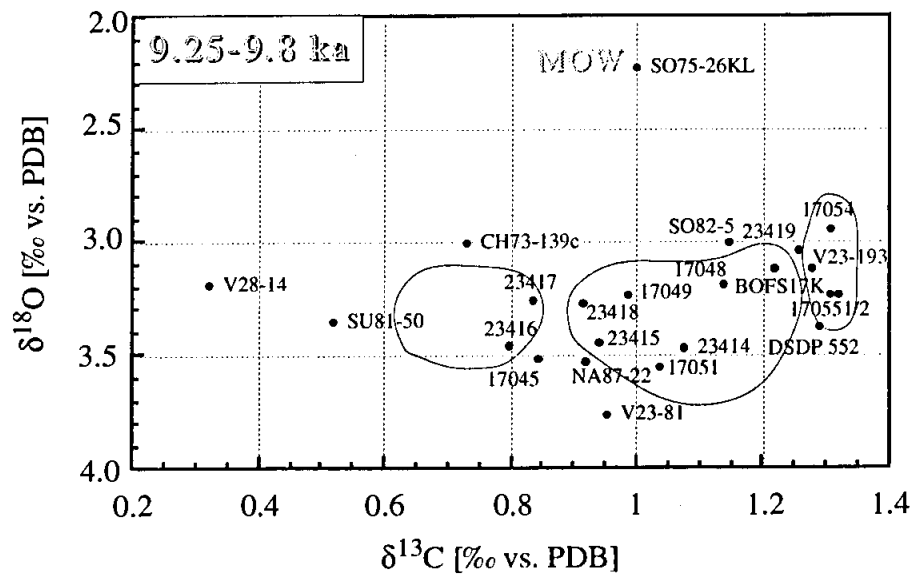
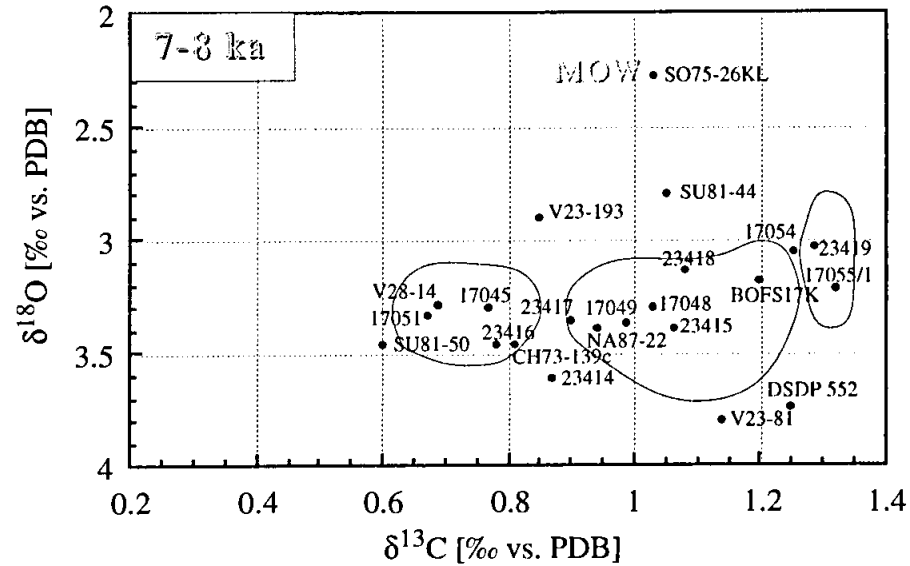
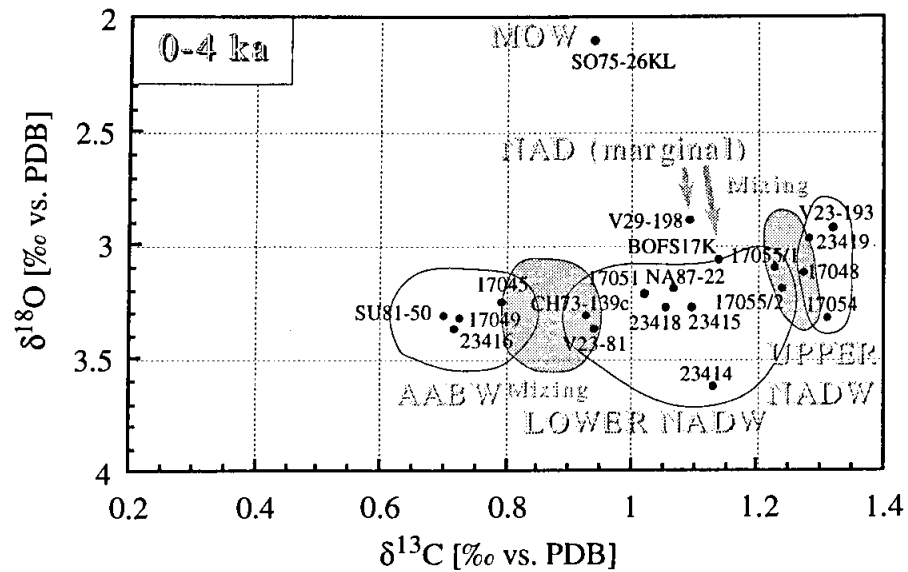
#### zu Frage 1-

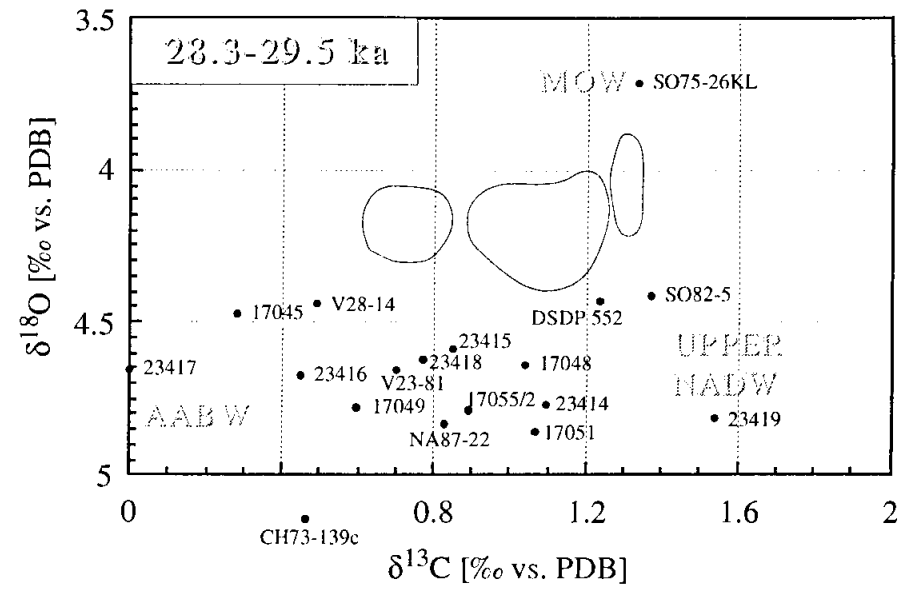
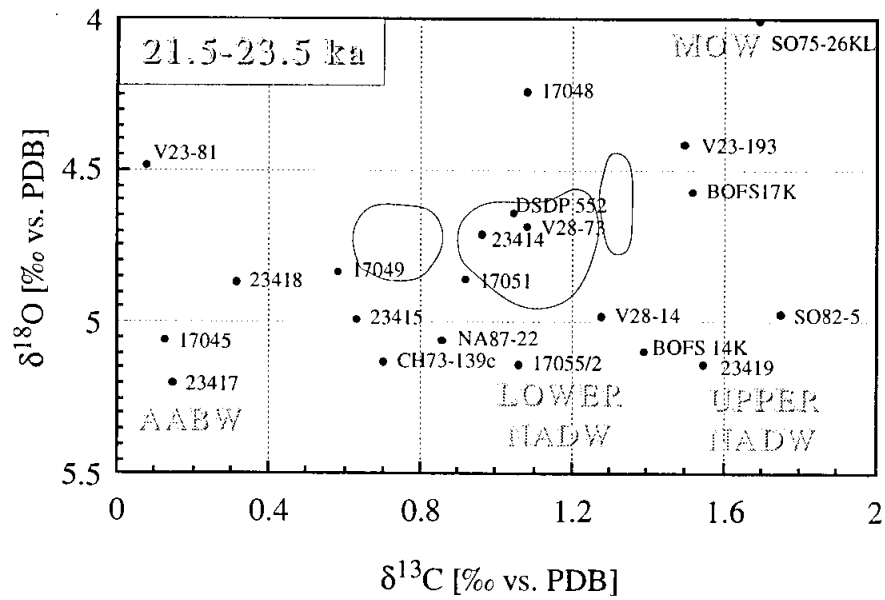
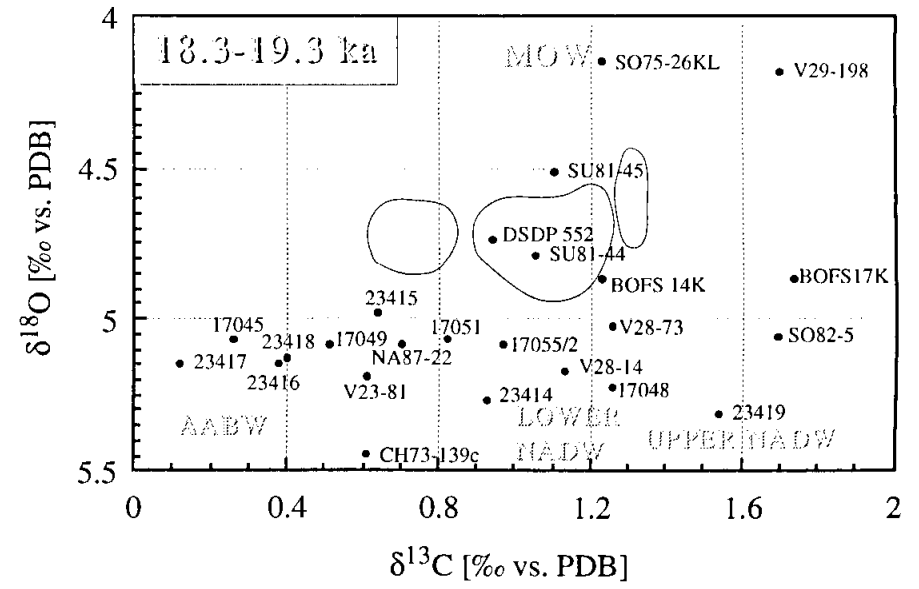
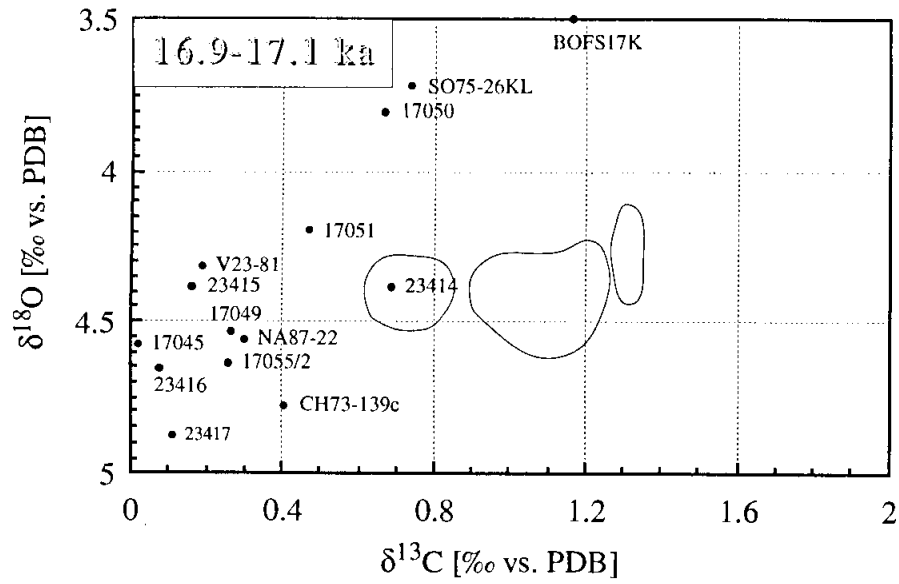
$\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven und Schätzwerte der Oberflächentemperatur (Vogelsang, 1990, Koc Karpuz & Jansen, 1992) zeigen, daß unmittelbar nach Ende und schon während der Jüngeren Dryas der Norwegenstrom in die NGS etabliert war (Sarnthein *et al.*, 1995). Auch an Land, in den  $\delta^{18}\text{O}$ - und Leitfähigkeitsprofilen aus grönländischen Eiskernen (Dansgaard & Oeschger, 1989; Taylor *et al.*, 1993a) finden sich seither kaum nennenswerte Klimaschwankungen. Erwartungsgemäß ergaben sich bei Abb. 11 (Kapitel 5.7) lediglich kleinere Veränderungen im Salzförderband: in Richtung auf kälteres NADW und verstärkte AABW-Advektion im Spätholozän vor der Rockall-Bank. Diese Folgerung bestätigt sich im wesentlichen auch in den E-W-Transekten (Abb. b bis g). Ein leicht abweichender Verlauf und eine steilere Neigung der Isolinien sowie die Verlagerung von Datenpunkt 17049 im  $\delta^{18}\text{O}$ -/ $\delta^{13}\text{C}$ -Felderdiagramm in Richtung auf bessere Ventilation (Abb. 19) deuten auf ein verstärktes Salzförderband im Frühholozän (Sarnthein *et al.*, 1994). Steil stehende  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Isolinien am Plateau-Fuß (Abb. 13f, g) deuten vielleicht auch darauf, daß damals die Advektion von AABW reduziert war und sich daher stärker als heute auf den östlichen Fuß des Plateaus beschränkte, wahrscheinlich im Gefolge der damals verstärkten NADW-Bildung. Im nachfolgenden Frühmittel-Holozän (7-8 ka) schwächte sich, wie die plötzlich einsetzende  $\delta^{13}\text{C}$ -Minimumzone bei 2200 m in Abb. 13d zeigt das Salzförderband etwas ab; das AABW wurde stärker. Dementsprechend rückte in Abb. 19 die Position von Kern 17051, die heute gerade die Basis des NADW dokumentiert, aus der Unteren NADW-Datenpopulation tief in das "AABW-Feld" hinein (Abb. 13 und 19; vgl. Sarnthein *et al.*, 1994).

Abb. 19.  $\delta^{18}\text{O}$ -/ $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von *C. wuellerstorfi* für die Zeitscheiben 0-4, 7-8, 9,25-9,8, 12,3-12,8, 16,9-17,1, 18,3, 21,5-23,5 und 28,3-29,5 kal ka.  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von Kern 17045 und 17048 teilweise aus Winn *et al.* (1991). Daten von Kern V28-73, V29-193 und V29-198 aus Oppo & Lehman (1993); Daten von Kern CH73-139c, NA87-22 und SU81-50 aus Sarnthein *et al.* (1994) und Centre des Faibles Radioactivites-Gif sur Yvette (unpublished); Daten von Kern 17054, 17055-1/2 aus Winn *et al.* (1991) und Sarnthein *et al.* (1994); Daten von Kern V 23-81 aus Jansen & Veum (1990); Daten von Kern V28-14 aus Curry *et al.* (1988); Daten von Kern BOFS 17K/14K aus Bertram *et al.* (1995); Daten von Kern SO75-26Kl aus Zahn *et al.* (submitted). Die Umrißlinien der heutigen Tiefenwassermassen (0-4 ka) sind in die übrigen Felderdiagramme übertragen worden. Hierbei wurden wegen des Eiseffektes die Umrißlinien in Zeitscheibe 28,3-29,5 ka um 0,7 ‰, in den beiden LGM-Zeitscheiben um 1,25 ‰, in Zeitscheibe 16,9-17,1 ka um 0,9 ‰ und in der Jüngeren Dryas (12,3-12,8 ka) um 0,6 ‰ zu schwereren  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten verschoben. Im Holozän blieb ein Eiseffekt unberücksichtigt.

Fig. 19.  $\delta^{18}\text{O}$ -/ $\delta^{13}\text{C}$ -values of *C. wuellerstorfi* for time slices 0-4, 7-8, 9,25-9,8, 12,3-12,8, 16,9-17,1, 18,3, 21,5-23,5 and 28,3-29,5 cal ka.  $\delta^{18}\text{O}$ -values of core 17045 and 17048 partly from Winn *et al.* (1991). Data for cores V28-73, V29-193 and V29-198 from Oppo & Lehman (1993); data of cores CH73-139c, NA87-22 and SU81-50 from Sarnthein *et al.* (1994) and Centre des Faibles Radioactivites-Gif sur Yvette (unpublished); data of cores 17054, 17055-1/2 from Winn *et al.* (1991) and Sarnthein *et al.* (1994); data of core V 23-81 from Jansen & Veum (1990); data of core V28-14 from Curry *et al.* (1988); data of cores BOFS 17K/14K from Bertram *et al.* (1995); data of core SO75-26Kl from Zahn *et al.* (submitted). The watermass borderlines of time slice 0-4 ka were transferred into the other time slices. Because of the ice effect these lines were shifted in time slice 28,3-29,5 ka by 0,7 ‰, in both LGM-time slices by 1,25 ‰, in time slice 16,9-17,1 ka by 0,9 ‰ and in the Younger Dryas (12,3-12,8 ka) by 0,6 ‰ towards heavier  $\delta^{18}\text{O}$ -values. In the Holocene the ice effect was ignored.







### zu Frage 2-

Wegen der heute geringen O- und C-Isotopenunterschiede zwischen Unterem und Oberem NADW (Abb. 19) ist eine scharfe Trennung dieser beiden Wassermassen bei Rekonstruktionen des Salzförderbandes bislang schwierig. Auf Abb. 13c, 0-4 ka, zeigt sich allerdings schon bei 2200-2400 m Tiefe, weit über der NADW-Basis eine auffällige  $\delta^{18}\text{O}$ -Maximum-Lage, die auch in den meisten übrigen Zeitscheiben wiederkehrt (vgl. Abb. 13, besonders Einlegeprofile) und in etwa nach Abb. 18 die örtliche Obergrenze des Unterem NADW bezeichnend markieren sollte. Gerade bei der Zeitscheibe 7-8 ka (Abb. 13c) stellt sich in diesem Bereich nun noch ein deutliches  $\delta^{13}\text{C}$ -Minimum ein, womit noch deutlicher die Grenzlage innerhalb des NADW herausgehoben wird, viel deutlicher als im frühesten und im späten Holozän (9,25-9,8 ka und 0-4 ka).

Hieraus folgt, daß innerhalb des Holozäns sich im Oberen NADW aus der Labrador See (d.h. oberhalb der 1 ‰-Isolinie bei 2,0-2,5 km) relativ wenig verändert hat. Das Untere (und ?mittlere) Stockwerk des NADW, das im wesentlichen seine Quelle in der Tiefwasserkonvektion der NGS hat, erlitt hingegen vor 7-8 ka zumindest einen recht deutlichen Wandel, und zwar auf zweierlei Weise: Einmal wurde es damals von unten her durch den AABW-Abkömmling eingeengt (vgl. Kern 17051), zum anderen war es dem  $\delta^{13}\text{C}$ -Minimum nach, das nahe seiner Obergrenze liegt, deutlich schlechter ventiliert. Beide Beobachtungen laufen gleichermaßen auf eine vorübergehende Reduktion in der Tiefwasserkonvektion der NGS vor 7-8 ka hinaus. Die Tiefwasserbildung des Oberen NADW in der Labrador See war hingegen von dieser Schwankung offensichtlich nicht beeinflusst. Nach Ciais *et al.* (1992) und Street-Perrott & Street-Perrott (1990) wird diese intraholozäne Oszillation des Salzförderbandes mit dem Aufschwimmen der letzten größeren Eismassen im Bereich der Hudson Bay in Zusammenhang gebracht, wodurch Eisbergswärme und Schmelzwasser über die NAD relativ rasch bis in das Europäische Nordmeer gelangt sein könnten.

## 7.4. Tiefenwasserzirkulation in der Jüngeren Dryas

Die Art, wie und ob das Salzförderband in der Jüngeren Dryas zirkulierte, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Zentral wichtig sind dort folgende Fragen:

- 1.) Ob das Salzförderband damals generell ähnlich dem Holozän zirkulierte oder es vielleicht ganz oder zum Teil zum Stillstand kam, ähnlich wie bei Termination Ia.
- 2.) Ob Veränderungen in der Jüngeren Dryas ähnlich vor 7-8 ka vielleicht wieder nur das Untere NADW betrafen und ob sich dafür irgendwelche Ursachen erkennen lassen.

### zu Frage 1-

Sarnthein *et al.* (1992, 1995), Veum *et al.* (1992) und Weinelt (1993) zeigten mit Hilfe planktischer Foraminiferen, daß in der Jüngeren Dryas Oberflächenwasser aus dem Nordatlantik in die NGS gelangte und dort lokal Dichten erreichte, die eine Tiefenkonvektion erlaubten. Mit Hilfe benthischer  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bestätigten Jansen & Veum (1990), Vogelsang (1990) und Sarnthein *et al.* (1994) im Wesentlichen diese Folgerung. Nach Boyle (1995) und Keigwin *et al.* (1994) sollte damals hingegen die Stärke des Unterem NADW drastisch reduziert gewesen sein.

Auffällig sind die große Ähnlichkeit der Datenmuster im  $\delta^{18}\text{O}$ -/ $\delta^{13}\text{C}$ -Felderdiagramm von Fröhmittel-Holozän (7-8 ka) und Jüngerer Dryas (Abb. 19) und die in etwa deckungsgleichen Verläufe der örtlichen  $\delta^{18}\text{O}$ -Maxima beider Zeitscheiben bei ca. 2300 m Tiefe in Abb. 13e und i. Auch das  $\delta^{13}\text{C}$ -Minimum bei 2200m Tiefe in Zeitscheibe 7-8 ka deckt sich in etwa mit einem deutlichen und breiten  $\delta^{13}\text{C}$ -„Plateau“ bei 0,8-0,9 ‰ in der Jüngerer Dryas (Abb. 13, 19). Es liegt daher der Schluß nahe, daß das Salzförderband in der Jüngerer Dryas wohl ähnlich wie im Früh-Mittelholozän zirkulierte. Der Verlauf der Isolinie 0,8 ‰- $\delta^{13}\text{C}$  (Abb. 13h) deutet allerdings darauf hin, daß das Bodenwasser mit AABW-Ursprung damals etwas mächtiger war als heute und vor 7-8 ka am Fuß des Rockall Plateaus bis auf 2600-3100 m Wassertiefe hinaufreichte (Kern 17051 in Abb. 19 und 13d und e, dort auch Einlegeprofile).

Damit könnten sich die unterschiedlichen Deutungen der Jüngerer-Dryas-zeitlichen Tiefenströme von Boyle (1995) und Keigwin *et al.* (1994) sowie die der vorliegenden Arbeit und bei Sarnthein *et al.* (1994) vielleicht zu einem gemeinsamen Bild verknüpfen lassen, nämlich über eine Differenzierung der Prozesse im Unteren und Oberen NADW, so wie in der Zeitscheibe 7-8 ka. Dort zeigte sich ja, daß die Tiefenkonvektion lediglich in der NGS abgeschwächt war und dieses Untere NADW nahe seiner Obergrenze mit einem charakteristischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Maximum verknüpft ist. Genau bei diesem Maximum in 2200-2500 m Tiefe ist auch in der Jüngerer Dryas die Ventilation abgeschwächt (Abb. 13h/i). In Analogie zur Zeitscheibe 7-8 ka war also wohl auch in der Jüngerer Dryas die Tiefenkonvektion nur in der NGS abgeschwächt und hatte sich zur Labrador See hin verlagert, was sich mit Boyle (1995) und Lehman & Keigwin (1992) insofern deckt, daß sich deren Befunde tatsächlich nur auf die Ventilation des Unteren NADW beziehen.

#### zu Frage 2-

Zugleich mit der reduzierten Tiefwasserbildung in der NGS erreichten die Temperaturen über Grönland damals ein annähernd glaziales Niveau (Dansgaard & Oeschger, 1989; Taylor *et al.* 1993b). Gleichzeitig waren die Wassertemperaturen in der NGS erheblich niedriger als heute (Koc-Karpuz & Jansen, 1992; Sarnthein *et al.*, 1995). Vor allem im Winter dürfte die NGS zugefroren sein und damit jegliche Tiefwasserkonvektion saisonal unterbunden haben (Renssen *et al.* 1995). Was zur ungewöhnlich starken Abkühlung (der Winterwässer in) der NGS führte, ist aus unseren Daten nicht zu erklären. Deutlich ist hingegen, daß die Konvektion von Tiefenwasser auch in der NGS während der Jüngerer Dryas nicht vollständig abstarb.

### 7.5. Tiefenwasserzirkulation im Gefolge von Termination Ia (16,9-17,1 ka; im Anschluß an Heinrich Ereignis 1)

Wesentliche Fragen im Zusammenhang von Schmelzwasser-Katastrophen und ihrer Wirkung auf das Salzförderband wurden bereits in Kapitel 5.7 diskutiert. Darüber hinaus fragt sich

- wo vielleicht eine flache Tiefenkonvektion erhalten blieb und
- wie unterschiedliche Zwischenwassermassen sich abgrenzen und auf ihren Ursprung zurückführen lassen.

Computersimulationen zeigen, daß Schmelzwasserlinsen in Tiefenkonvektionsgebieten das Salzförderband kurzzeitig nahezu zum Stillstand bringen können (Bryan, 1986, Maier-Reimer & Mikolajewicz, 1989, Rahmsdorf, 1994/5), allenfalls eine rudimentäre Zwischenwasserkonvektion in niederen Breiten des N-Atlantik erhalten bleibt

(Seidov *et al.*, in press). Eine solche flache Zwischenwasserkonvektion deutet sich in dem hohen  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von 1,17 ‰ bei Kern BOFS 17K vom Gipfel des Rockall Plateaus an (Abb. 13j). Sie reicht wohl nicht tiefer als etwa 1600 m am Plateau selbst und vielleicht 2000 m in der Gardar Drift westlich davon (immer vorausgesetzt, daß der relativ kurze Zeitabschnitt in allen unseren Kernprofilen gleich gut aufgelöst ist). Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im E-W-Profil zeigen unterhalb von 1,8 km Wassertiefe am Rockall Plateau den steilsten  $\delta^{18}\text{O}$ -Gradienten von 0,7-0,9 ‰ und wiederum ein schwaches  $\delta^{18}\text{O}$ -Maximum bei 2,2 km, das an die bekannten Maxima im Holozän erinnert (Abb. 13k). Diese Strukturen deuten darauf hin (sofern sie nicht durch unzureichende Auflösung vorgetäuscht sind), daß zwei Wasserkörper bei ca. 2000 m Tiefe aufeinander stießen deren genaue Herkunft schwierig anzugeben ist. Die niederen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte bei 1850 m (Abb. 13k) ließen eventuell auf O-isotopisch leichtes Schmelzwasser schließen, das dem Zwischenwasser beigemischt wurde (im Sinne von Jansen & Veum, 1990).

Der genaue Ort der Konvektion des Zwischenwassers bei der Rockall Bank ist mit unserem Datensatz nicht auszumachen. Hochinteressant ist in diesem Zusammenhang Kern SO75-26K1 vor Portugal unter dem MOW -Ausstrom. Abweichend von allen anderen Zeitintervallen, wo das warme MOW etwa um 1 ‰ leichtere  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte liefert, finden sich hier nahezu die gleichen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte wie in gleicher Wassertiefe am Rockall Plateau, während der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert um 0,4 ‰ leichter ist. Die Frage, ob es sich vor Portugal damals um MOW oder um einen Ausläufer der rudimentären nordatlantischen Zwischenwasserkonvektion handelt, läßt sich aus dem Umstand beantworten, daß - wie oben abgeleitet - bei Termination Ia isotopisch leichtes Schmelzwasser bis gegen 1850 m hinabsank. Daher hatte das extrem kalte Zwischenwasser beim Rockall Plateau etwa die gleichen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte wie das wesentlich wärmere, aber auch viel salzreichere MOW vor Portugal. Daß es einen solchen Mittelmeer-Ausstrom überhaupt gab, dafür sprechen vergleichsweise hohe  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von damals bis zu 1,35 ‰ unmittelbar vor Gibraltar (Sarnthein *et al.* 1994) mit einem Gradienten nach Norden, in den sich auch die Werte von 0,74 ‰ bei Kern SO75-26K1 zwanglos einfügen. Das MOW war vielleicht schwächer als zuvor, hörte aber nicht auf zu fließen. Seine Abtrennung vom nordatlantischen Zwischenwasser erscheint einigermaßen gesichert.

## 7.6. Eiszeitliche Tiefenwasserzirkulation in den Zeitscheiben 21,5-23,5 ka und 18,3-19,3 ka

Wie in Kapitel 5.7 bereits herausgestellt, waren die Temperaturen von Tief- und Bodenwasser in Stadium 2 bis 4 grundsätzlich um mehrere °C niedriger als im Holozän und der Zufluß von AABW mit schlechter Ventilation stärker. Aus der räumlichen Darstellung in Abb. 13l-o ergeben sich noch zusätzliche Hinweise zu folgenden Fragen:

1) Woher die gut ventilierten Zwischen- und Tiefenwassermassen im LGM stammten und inwieweit diese Quellgebiete in den beiden Zeitscheiben ortsfest blieben, schließlich ob sie noch von anderen Proxydaten untermauert werden.

2.) Wie sich vielleicht das erst jüngst von Völker *et al.* (1995) in der Islandsee beobachtete schwere Zwischenwasser bis in den Nordostatlantik verfolgen läßt.

### zu Frage 1-

Erwartungsgemäß zeigt sich in den beiden hochglazialen E-W-Transekten von Abb. 13 sowie in Abb. 11 (Kap. 5.7), daß das AABW damals mächtiger war und am östlichen Rockall Plateau wohl höher als heute hinaufreichte.

Nimmt man die  $\delta^{13}\text{C}$ -Isolinie 0,8-0,9 ‰ bei 2200 m in Abb. 13 und n und Abb. 19 zu ihrem heutigen Nennwert, so müßte das Wasser mit AABW-Ursprung um maximal 1000 m höher als heute gereicht haben (Sarnthein *et al.*, 1994). Korrigiert man aber, wie in Abschnitt 7.1 diskutiert, die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte um einen Betrag von 0,3 ‰, so käme als Obergrenze die 0,6 ‰-Isolinie in Betracht, die, wohl realistischer, einen Anstieg der AABW-Obergrenze um nur 200-400 m bis ca. 2600 m dokumentierte.

Das Tiefen- und Zwischenwasser weiter im Hangenden war mit 1,2-1,75 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  bestens ventiliert (Abb. 13l und o; Duplessy *et al.*, 1988; Oppo & Fairbanks, 1990; Oppo & Lehman, 1993; Sarnthein *et al.*, 1994). Unklar ist seine genaue Herkunft. Als Quellen kommen grundsätzlich ein glaziales MOW (Zahn *et al.* 1987; Sarnthein *et al.*, 1994) sowie glaziale Konvektion irgendwo aus der Nähe der Labrador See und/oder im zentralen Nordatlantik (Boyle, 1992; Labeyrie *et al.*, 1992; Sarnthein *et al.*, 1994) in Frage. Mit den  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Transekten von Abb. 13l und m kann nun erstmals gezeigt werden, daß das obere Tiefenwasser im Nordatlantik zwischen Rockall Plateau und Grönland aus mindestens zwei Quellen von eiszeitlichem NADW gespeist wurde (siehe unten), zugleich noch gut ventiliertes MOW von Gibraltar bis vor Nordportugal vordrang, unterschiedliche Quellen, die nun klar abzutrennen sind.

In Zeitintervall 21,5-23,5 ka (Abb. 13n und o, 19) wurde das am besten ventilierte NADW irgendwo nahe dem Südisland Rücken, nahe Kernposition SO 82-5 gebildet; ähnlich gut ventiliertes MOW findet sich vor Portugal bis Gibraltar (vgl. Sarnthein *et al.*, 1994, Zahn *et al.* 1987). Die beiden nach ihren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten so ähnlichen Wassermassen unterscheiden sich allerdings durch ihre  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte, die im MOW vor Portugal um bis zu 1,1 ‰ leichter sind (Abb. 19). Ähnlich wie heute geht dies wahrscheinlich auf einen deutlichen Temperaturunterschied zurück: Bei damals gleichem Salzgehalt wäre das MOW dadurch um 4,5 °C, bei 1 ‰ mehr Salzgehalt sogar um 6,5 °C wärmer gewesen, etwa der gleiche Unterschied wie er heute zu finden ist. 7 °C war auch etwa die eiszeitliche Wintertemperatur im westlichen Mittelmeer (Thiede, 1980).

Im späten LGM veränderte sich dieses Bild. Jetzt sind nurmehr die Zwischenwassermassen am Rockall Plateau und Reykjanes Rücken so stark ventiliert, die vor Portugal um 0,6 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  weniger (Abb. 13l, 19; Kern SO82-5 und SO75-26Kl. Ließe sich auf Grund des  $\delta^{13}\text{C}$ -Isolinienmusters allein noch schlußfolgern, daß gut ventilierte Wassermassen vom Rockall Plateau allmählich "alternd" damals bis Portugal vorstießen (u.a. postuliert von Boyle, 1992), so ergibt sich nunmehr aus den  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten die vor Portugal um 0,7-1,3 ‰ leichter = zumindest 3-6 °C wärmer sind als nahe der NADW-Quelle im Norden (vgl. Abb. 19), daß das MOW auch im späten LGM als eigenständige und deutlich wärmere Wassermasse existierte. Seine reduzierten  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte belegen schließlich, daß es schlechter ventiliert war als im mittleren LGM, jedoch immer noch höher als im Holozän (Abb. 13). Die generell gute Ventilation des MOW im LGM wird mit der starken Aridität des Mittelmeerraums und der damit dort hohen Salinität und Konvektion von Tiefenwasser in Verbindung gebracht (Zahn *et al.* 1987).

Die leicht reduzierte Ventilation des MOW im ausgehenden LGM findet sich übrigens auch in den beiden hochglazialen N-S-Transekten durch den Ostatlantik bei Sarnthein *et al.* (1994). Direkt bei Gibraltar nehmen hier die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von ca. 1,75 ‰ auf 1,6 ‰ ab. Die Ursachen für diese Abnahme sind unbekannt, könnten aber konsequenterweise in der zum Schluß des LGM abnehmenden Aridität des Mittelmeerraumes liegen (Sarnthein, 1978).

### zu Frage 2-

Bereits Labeyrie *et al.* (1992) folgerten, daß das NADW im späten LGM bei etwa 50-60° N und 20-30° W gebildet worden sein muß, was mit den benthischen  $\delta^{13}\text{C}$ -Verteilungsmustern dieser Arbeit bestätigt wird. Die im mittleren und späten LGM leicht unterschiedliche Position der höchsten  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte deutet zudem an, daß dieses Quellgebiet bei Grönland im LGM nicht ortsfest war (Sarnthein *et al.* 1994).

Nach neuen Dichterekonstruktionen für das Oberflächenwasser konnte sich Tiefenwasser im späten LGM sowohl in der südlichen Norwegen See wie südlich der Dänemarkstraße bilden (Sarnthein *et al.*, 1995; Weinelt *et al.*, im Druck). Die planktischen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte sind jedoch in allen diesen Gebieten, in der NGS wie im N-Atlantik überhaupt (Weinelt, 1993; Keigwin & Jones, 1989; Sarnthein *et al.*, 1995), mit maximal 1,0-1,2 ‰ (auf Wassergleichgewicht korrigiert) zu gering, um als Quelle für die benthischen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von 1,75 ‰ zu dienen. Demnach wären die genauen Quellgebiete für das glaziale NADW weiterhin unbekannt. Vielleicht war die Jahreszeit mit Tiefwasserbildung auch zu kurz, um sich im C-Isotopenverhältnis der planktischen Foraminiferen widerzuspiegeln.

Wie von den Dichterekonstruktionen des Oberflächenwasser (Weinelt *et al.*, im Druck) zu erwarten, wurden nunmehr von Völker *et al.* (1995) die ersten hieb- und stichfesten benthischen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von mehr als 1,7 ‰ aus der Islandsee vorgestellt, die tatsächlich - gemeinsam mit extrem schweren  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von bis zu 5,5 ‰ - eine Zwischenwasserbildung in der NGS und einen Tiefenwasserausstrom aus der NGS in den Nordatlantik nahelegen. Ein Teil des nach  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten extrem schweren/dichten Islandsee-Zwischenwassers könnte nun durch den Færøer-Kanal in den NE-Atlantik gelangt sein. Es wird dort wahrscheinlich auf dem Rockall-Plateau bei 1,4-2,3 km Tiefe (Abb. 13m und o) deutlich in den hohen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von 5,2-5,45 ‰ dokumentiert (Sarnthein *et al.*, mdl. Mittl.). Hieraus folgte, daß im LGM das Untere NADW in der Islandsee, oberes NADW im NW-Atlantik gebildet worden sei, im Prinzip wieder ähnlich wie heute.

## 7.7. Tiefenwasserzirkulation im frühesten Stadium 2

Im Detail wurden die Tiefenströme zu Beginn des LGM's, in Zeitscheibe 28,3-29,5 ka, bislang erst wenig untersucht, mit Ausnahme von Sarnthein *et al.* (1994). Wesentliche Fragen sind

- 1.) inwieweit die Tiefenzirkulation des Salzförderbands damals eher den holozänen oder den hochglazialen Zustand widerspiegelt, vielleicht sogar das damalige Vorrücken der Eisschilde;
- 2.) ob dieser Zustand vielleicht in Zusammenhang mit dem Ende von Heinrich Ereignis 3 in Verbindung steht (vgl. Kapitel 5.7).

### zu Frage 1-

Sarnthein *et al.* (1994) folgern aufgrund benthischer  $\delta^{13}\text{C}$ -Verteilungsmuster im gesamten Ostatlantik, daß das Salzförderband nahe der Stadiengrenze 2/3 zwar schlechter, aber ähnlich wie im Holozän zirkulierte. Mit der in dieser Arbeit verbesserten Auflösung deutet sich nun an, daß das  $\delta^{13}\text{C}$ -Isolinienmuster im E-W-Transekt eher eine Sonderposition zwischen dem Holozän und, in Teilen dem Hochglazial einnimmt (Abb. 13p und q). Holozän-ähnlich ist die fast gleichmäßig weitständige Abfolge der  $\delta^{13}\text{C}$ -Isolinien am Rockall-Plateau, die westlich davon mit hohen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten einen bis auf den Beckenboden reichenden Strom von NADW andeuten. Auch das extreme

$\delta^{13}\text{C}$ -Minimum westlich des MAR gleicht dem Holozänmuster. Glazial-ähnlich sind hingegen der extreme  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von 1,54 ‰ bei 1400 m am Rockall Plateau (vgl. Abb. 13p) und die gute Ventilation des MOW. (1,34 ‰  $\delta^{13}\text{C}$ ; vgl. auch N-S-Transekt aus Sarnthein *et al.* (1994). Im Gegensatz zum Glazial werden diese extremen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte jedoch nur auf dem Rockall-Plateau erreicht (möglicherweise wurde hier bei Kern 23419 durch schwierige stratigraphische Einstufung aber ein zu junger, d.h. eiszeitlicher Wert ermittelt). Auch das  $\delta^{18}\text{O}$ -Isolinienmuster nimmt eine Sonderposition zwischen Holozän und LGM ein. Im Gegensatz zu den vollglazialen Zeitscheiben sind die Werte wesentlich einfacher als in Zeitscheibe 21,5-23,5 ka verteilt. Die Verteilung der Maxima (höchste Werte in einem Streifen, der von 3000 m im östlichen Becken nach Osten aufsteigt) ähnelt z.T. jener im LGM (Abb. 13); nicht hingegen das Minimum unterhalb von 3,5-4,0 km.

Möglicherweise wurde hier ein bisher unbekanntes Zirkulationsmuster erfaßt, bei dem Oberes NADW (nur) damals vielleicht in unmittelbarer Nähe des Rockall-Plateaus gebildet wurde. Den niedrigen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten westlich des Mittelatlantischen Rückens zufolge stammte diese Wassermasse wie heute sicher nicht aus dem Bereich um Grönland, wo die Isotopenverhältnisse - ganz anders als im LGM - eher denen des AABW ähneln (Kern V28-14, Abb. 19). Das nach C-Isotopen gut durchlüftete NADW deckt sich an seiner Basis mit dem  $\delta^{18}\text{O}$ -Maximum, d.h. wahrscheinlich mit einem Dichtemaximum verknüpft war, soweit die Tiefenwassertemperaturen damals für konstant gehalten werden können. Dieses Wasser größter Dichte kann damals so wie heute auch aus der NGS eingeströmt sein. Heute nehmen dabei die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte auf dem Weg von dem zentralen Nordmeer bis in den NE-Atlantik um ca. 0,4-0,5 ‰ ab (Sarnthein *et al.*, 1994). Bei gleich starkem Corg-Fluß müßte somit das Zwischenwasser zu Beginn von Stadium 2 ursprünglich mehr als 2,1-2,2 ‰ "schwer" gewesen sein. Ähnlich wie im LGM sind aber derart hohe planktische  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte dort bisher nicht bekannt (max. 1,25 ‰; vgl. Vogelsang, 1990; Weinelt, 1993), sind es aber auch nicht im LGM, obwohl hier Tiefenwasser-Konvektion nun sicher nachgewiesen wurde (Völker *et al.* 1995). Weil der Flux von Corg in der frühen Eiszeit sicher anders war als heute, nach mikropaläontologischen Daten (Samtleben *et al.* 1995) sogar eher geringer, so sollte/könnte auch die  $\delta^{13}\text{C}$ -Abreicherung im Tiefenwasser, also die Alterung langsamer vor sich gehen und der Ausgangs- $\delta^{13}\text{C}$ -Wert eher beim Sollwert von ca. 2,0 ‰ in der NGS gelegen haben.

Insgesamt lassen die Befunde also auch zu, daß die starke Tiefenkonvektion zu Beginn von Stadium 2 in der NGS stattgefunden hat. Die starke Tiefwasserbildung läßt sich mit dem damaligen Vorstoßen der kontinentalen Eismassen insofern gut vereinbaren, als das Aufwachsen von Eis eine Zufuhr von Niederschlägen und somit eine starke Verdunstung aus einem ebenfalls starken Salzförderband erforderte. Gleichzeitig strömte bereits ein gut ventiliertes MOW vor Portugal ein, das eher dem glazialen als dem holozänen Zirkulationsmodus entspricht.

#### zu Frage 2-

Schließlich stellt sich die Frage, warum das NADW gerade damals nach dem Heinrich-Ereignis 3 wieder so massiv gebildet wurde. In Kapitel 5.7 wurde auf eine Art von "Durchspülphasen" des Atlantiks nach den einzelnen Heinrich Ereignissen geschlossen. So sollten auch nach dem Verschwinden der weit verbreiteten Schmelzwassermassen bei Heinrich Ereignis 3 (u.a. Bond *et al.*, 1993; Cortijo, 1995) sehr rasch wieder jene Bedingungen (hinreichend hoher Salzgehalt aus der NAD bei extrem starker Abkühlung) etabliert worden sein, die



Tiefenkonvektion ermöglichten und nur solange erhalten blieben, wie das Nordmeer und/oder der Nordatlantik frei von ganzjährigem Meereis oder neuerlichen Schmelzwasserschüttungen blieben.

## 8. Schlußfolgerungen

Mit hochauflösenden  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopenkurven wurde untersucht, wie sich das ozeanische Salzförderband im N-Atlantik in der Vergangenheit räumlich und zeitlich verändert hat. Die dafür nötigen Altersmodelle der Sedimentkerne beruhen teils auf AMS14C-datierten  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven, teils auf charakteristischen Eisdrift-Schuttlagen als Ausdruck von Heinrich Ereignissen. Heinrich Ereignisse 1 bis 4 wurden nach Bond *et al.* (1993) auf 17,25, 24,5, 30,8, und 38,4 ka datiert. Heinrich Ereignis 2.2 und 5 bis 9 wurden mit 26-27, 50,6, 58,2, 62,7, 85,6, 128,5 und 136,2 ka stratigraphisch festgelegt. Gemittelt dauerten Heinrich Ereignis 1-6 jeweils <1000 bis maximal 4000 Jahre. Die Dauer der Strömungsumkehr bei Heinrich Ereignis 3 konnte zum ersten Mal bei einer laminierten Sedimentsektion mit AMS14C-Altern auf 800 Jahre eingegrenzt werden.

Anhand "eindimensionaler" vertikaler Raum-Zeit-Schnitte vom Südhang des Rockall Plateaus wurde mit  $\delta^{18}\text{O}$ -/ $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von *C. wuellerstorfi* die zeitliche Veränderlichkeit des Salzförderbandes auf 500 Jahre genau rekonstruiert. Herausragende Ergebnisse sind:

1) In Stadium 2, 4 und späteren Stadium 3 war der vertikale  $\delta^{13}\text{C}$ -Gradient zwischen 1500 und 3000 m deutlich versteilt; das Zwischenwasser war bestens, Tiefenwasser hingegen schlecht ventiliert. Durchwegs höhere  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte deuten auf damals allgemein niedrigere Tiefwassertemperaturen, die vielleicht bei 0-0,5° C lagen, wenn der örtliche Salzgehalt - nach Korrektur auf den Eiseffekt - damals nicht höher als heute war.

2) Erwartungsgemäß wurde durch extreme Ventilationsminima nachgewiesen, daß die Tiefenwasser-Konvektion und somit das Salzförderband bei den katastrophalen Heinrich-Eisbergabbrüchen weitgehend unterbrochen war. Im Anschluß an Heinrich-Ereignis 3 und 6.2 wurden zum ersten Male extreme ( $\delta^{18}\text{O}=\text{=}$ ) Dichtespitzen bei ca. 2-4 km Wassertiefe nachgewiesen, vermutlich die Folge eines vorangehenden Wärmestauens und einer anschließenden intensiven Durchspülphase im Atlantik.

3) Auch bei den Kaltphasen im Zusammenhang mit den noch kurzfristigeren Dansgaard-Oeschger-Ereignissen ging das Salzförderband stark zurück, jedoch weniger als bei den Heinrich Ereignissen. Bei diesen Dansgaard-Oeschger Ereignissen schwappte die NADW/AABW-Grenzfläche zwischen 2500-2800 m auf und ab. Kurze schwache Dichtespitzen deuten auch hier vielleicht an, daß den Schwächephasen des Salzförderbandes jeweils kurze "Durchspülphasen" des Atlantiks folgten.

4) Im Frühholozän belegen durchwegs hohe  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte eine bis in 4000 m Wassertiefe reichende Ventilation durch warmes und verhältnismäßig salzreiches NADW. Im Spätholozän (letzte 4000 Jahre) rührt die schlechtere Ventilation und - bei Annahme konstanter Salzgehalte - offensichtliche Abkühlung wahrscheinlich von einem mächtigeren AABW-Wasserpaket her, im Zusammenhang mit einem leicht geschwächten Salzförderband.

Die räumliche Veränderlichkeit ließ sich anhand von NW-SE-Transekten für insgesamt acht Zeitscheiben darstellen. Es sind drei Zirkulationsmodi erkennbar:

**1) Glazialer Zirkulationsmodus:** In den Zeitscheiben 18,3-19,3, 21,5-23,5 und 28,3-29,5 ka war das Salzförderband deutlich geschwächt. Extrem gut ventiliertes Oberes NADW wurde damals südwestlich von Island gebildet, unteres NADW in der Norwegen See, ähnlich wie heute, aber in geringerem Ausmaß. Die örtliche Konvektionstiefe reichte bis zum Meeresboden in 2,2-2,3 km hinab. Zwangsläufig war das AABW-Wasserpaket

mächtiger. Zu Beginn von Stadium 2, anschließend an Heinrich-Ereignis 3 war die NADW-Bildung relativ stark und fand vermutlich in der NGS oder im NE-Atlantik statt.

Für die beiden LGM-Zeitscheiben konnte der Nachweis geführt werden, daß MOW und NADW als zwei gut ventilerte Zwischenwassermassen nebeneinander existierten. Im ausgehenden LGM schwächte sich die MOW-Advektion leicht ab.

**2) Schmelzwassermodus:** Bei Eiszeit-Termination Ia ging die Intensität des Salzförderbands erwartungsgemäß gegen Null. Interessanterweise blieb allerdings eine flache Zwischenwasserkonvektion westlich vom Rockall Plateau erhalten. Die MOW-Advektion ging ebenfalls zurück, blieb jedoch im Prinzip erhalten, d.h., der MOW-Zufluß reagierte eher unabhängig vom Salzförderband.

**3) Holozäner Modus:** Im Holozän und der Jüngeren Dryas variierte das Salzförderband relativ wenig, ausgenommen eine Phase vor 7-8 ka im Früh-Mittelholozän, wo die Bildung von Unterem NADW in der NGS vorübergehend zurückging. In der Jüngeren Dryas herrschte vermutlich eine ähnliche oder stärkere Reduktion der Tiefwasserbildung im Nordmeer. Im tiefen Westatlantik ist im Holozän wie in der Jüngeren Dryas ein Abkömmling von AABW bis östlich von Grönland vorgedrungen.

## 9. Dank

Herrn Prof. M. Sarnthein danke ich für die Vergabe dieser Arbeit sowie sein beständiges Interesse an Ihrem Fortgang. Seine tatkräftige Unterstützung trug maßgeblich zum Gelingen der Arbeit bei.

Herrn Dr. H. Erlenkeuser danke ich für die großzügige Bemessung der Meßzeit für die Isotopenanalysen, ohne die der umfangreiche Datensatz nicht hätte erstellt werden können. Herrn Dr. K. Winn danke ich für die Überlassung von z.T. unveröffentlichtem Datenmaterial. Mein besonderer Dank gilt Dr. R. Zahn der unveröffentlichtes Datenmaterial zugänglich machte. Prof. J. Heinemeier (AMS-Labor, Physikalisches und Astronomisches Institut der Universität Aarhus) führten die AMS14C-Datierungen durch, wofür ich ihm herzlich danke.

Allen Mitgliedern der Arbeitsgruppe danke ich für ein immer freundliches Arbeitsklima, besonders Herrn Dipl. geol. J.-J. Knaack, Frau Dr. M. Weinelt und Herrn Dr. G. Haug.

Bei technischen Arbeiten halfen A. Grothmann, U. Hufnagel, I. Neumann, J. Hoffmann, M. Pees und besonders Frau M. Stahlberg und Immo Schnieders.

Dem SFB 313 danke ich für die Unterstützung und den Mitgliedern für eine unkomplizierte und gute Zusammenarbeit.

Besonderer Dank gilt meiner Freundin Klaudia, die mich in der Schlußphase der Arbeit stets unterstützte.

Ganz besonderer Dank gilt meiner Familie, die mich finanziell und durch ständiges Interesse unterstützte und mir auch über schwere Zeiten hinweg half.

## 10. Literatur

- Bard, E. (1988): Correction of accelerator mass spectrometry  $^{14}\text{C}$  ages measured in planktonic foraminifera: paleoceanographic implications- *Paleoceanography*, **3** (6), 635-645.
- Bard, E., M. Arnold, P. Maurice, J. Duprat, J. Moyes & J.-C. Duplessy (1987): Retreat velocity of the North Atlantic polar front during the last deglaciation determined by  $^{14}\text{C}$  accelerator mass spectrometry- *Nature*, **328**, 791-794.
- Bard, E., B. Hamelin, R. G. Fairbanks & A. Zindler (1990): Calibration of the  $^{14}\text{C}$  timescale over the past 30,000 years using mass spectrometry U-Th ages from Barbados corals- *Nature*, **345**, 405-410.
- Bé, A. W. H. (1977): An ecological, zoographic and taxonomic review of recent foraminifera.- In A. T. S. Ramsey (Ed.): *Oceanic Micropaleontology*- Academic Press Inc. LTD, London **1**, 1-100.
- Bé, A. W. H. & D. S. Tolderlund (1971): Distribution and ecology of living planktonic foraminifera subspecies living in surface waters of the Atlantic and the Indian Oceans.- In B. M. Funnell & W. R. Riedel (Ed.): *The micropaleontology of Oceans*- University Press, Cambridge, 105-149.
- Berger, W. & E. Vincent (1986a): Sporadic shutdown of North Atlantic deep water production during the Glacial-Holocene transition?- *Nature*, **324**, 53-55.
- Berger, W. H. (1990): The Younger Dryas cold spell - A quest for causes- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **89**, 219-237.
- Berger, W. H. & E. Vincent (1986b): Deep-sea carbonates: reading the carbon-isotope signal- *Geol. Rundsch.*, **75**, 249-270.
- Bertram, C. J., H. Elderfield, S. N. J. & J. MacDonald (1995): Cadmium/Calcium and carbon isotope reconstructions of the glacial northeast Atlantic Ocean- *Paleoceanography*, **10** (3), 563-578.
- Björnsson, H. & L. A. Mysak (1995): Millennial scale oscillations in a zonally averaged ocean model- IC-V abstract.
- Blunier, T., J. Chappellaz, J. Schwander, B. Stauffer & D. Raynaud (1995): Variations in atmospheric methane concentration during the Holocene epoch- *Nature*, **374**, 46-49.
- Bond, G. C., W. S. Broecker, S. Johnson, J. McManus, L. D. Labeyrie, J. Jouzel & G. Bonani (1993): Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice- *Nature*, **365**, 143-147.
- Bond, G. C., H. Heinrich, S. Huon, W. S. Broecker, L. Labeyrie, J. Andrews, J. McManus, S. Clasen, K. Tedesco, R. Jantschik, C. Simet & K. Mieczyslaw (1992): Evidence for massive discharges of icebergs into the glacial northern Atlantic- *Nature*, **360**, 245-249.
- Bond, G. C. & R. Lotti (1995): Iceberg discharges into the North Atlantic on Millennial Time Scale during the Last Glaciation- *Science*, **267**, 1005-1010.
- Boyle, E. (1986): Paired carbon isotope and cadmium data from benthic foraminifera: Implication for changes in oceanic phosphorus, oceanic circulation and atmospheric carbon dioxide- *Geochemica Cosmochemica Acta*, **50**, 265-276.
- Boyle, E. (1992): Cadmium and  $\delta^{13}\text{C}$  Paleochemical ocean distributions during the stage 2 Glacial Maximum- *Annual Reviews of Earth Planetary Sciences*, **20**, 245ff.
- Boyle, E. (1995):.
- Boyle, E. A. & L. D. Keigwin (1985/86): Comparison of Atlantic and Pacific paleo-chemical records for the last 215,000 years: Changes in deep ocean circulation and chemical inventories- *Earth Planetary Scientific Letters*, **76**, 135-150.
- Broecker, W. S., M. Andree, G. Bonani, W. Wölfli, H. Oeschger, M. Klas, A. Mix & W. Curry (1988a): Preliminary estimates for the radiocarbon age of deep water in the glacial ocean- *Paleoceanography*, **3**, 659-669.
- Broecker, W. S. (1988b): The chronology of the last deglaciation: implications to the cause of the younger dryas event- *Paleoceanography*, **3** (1), 1-19.
- Broecker, W. S., S. Blouton & W. M. J. Smethie (1992a): Radiocarbon decay and oxygen utilization in the deep Atlantic ocean- *Global Biogeochemical Cycles*, **5** (1), 87-117.
- Broecker, W. S., G. Bond, M. Klas, G. Bonani & W. Wölfli (1990): A salt oscillator in the Glacial Atlantic?, 1, The concept- *Paleoceanography*, **5**, 469-478.
- Broecker, W. S., G. Bond, M. Klas, E. Clark & J. McManus (1992b): Origin of the Northern Atlantic Heinrich events- *Climate Dynamics*, **6**, 265-273.

- Broecker, W. S., A. Mix, M. Andree & H. Oeschger (1984): Radiocarbon measurements on coexisting benthic and planktic foraminifera shells: Potential for reconstructing ocean ventilation times over the past 20,000 years- Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., **5** (Sect. B), 331-339.
- Broecker, W. S. & T.-H. Peng (1982): Tracers in the Sea- pp. 1-690, Eldigio, Palisades, New York,.
- Bryan, F. (1986): High-latitude salinity effects and interhemispheric thermohaline circulations- Nature, **323**, 301-304.
- Carstens, J. & G. Wefer (1992): Recent distribution of planktonic foraminifera in the Nansen Basin, Arctic Ocean.- Deep-Sea Research, **39** (Suppl. 2), S507-S524.
- Chappell, J. & N. J. Shackleton (1986): Oxygen isotopes and sea level- Nature, **324**, 137-140.
- Charles, C. D. & R. G. Fairbanks (1992): Evidence from Southern Ocean sediments for the effect of North Atlantic deepwater flux on climate- Nature, **355**, 416-419.
- Charles, C. D., J. D. Wright & R. G. Fairbanks (1993): Thermodynamic influences on the marine carbon isotope record.- Paleoceanography, **8** (6), 691-697.
- Chi, J. (1995): Multi-Sensor-Kern-Logging-Methoden zur Bestimmung von physikalischen Sedimenteigenschaften.- Dissertation, Universität Kiel, pp. 125, pp.
- Ciais, P., J. Jouzel, C. Lorius, N. I. Barkov, V. Lipenkov & V. Nicolaiev (1992): Evidence for an early Holocene climatic optimum in the Antarctic deep ice-core record- Climate dynamics, **6**, 169-177.
- CLIMAP-Project-Members (1976): The surface of the iceage earth- Science, **191**, 1131-1137.
- Cortijo, E. (1995): La variabilité climatique dans l'Atlantique Nord depuis 128 000 ans: relations entre les calottes de glace et l'océan de surface.- Ph.D., Université de Paris-Sud U.F.R. Scientifique d'Orsay, pp. 264.
- Cox, R. A., M. J. McCartney & F. Culkin (1970): The specific gravity/salinity/temperature relationship in natural seawater- Deep-Sea Research, **17**, 679-689.
- Curry, W. B., J.-C. Duplessy, L. D. Labeyrie & N. J. Shackleton (1988): Changes in the distribution of  $\delta^{13}\text{C}$  of deep water  $\Sigma\text{CO}_2$  between the last Glaciations and the Holocene- Paleoceanography, **3**, 317-342.
- Dansgaard, W., J. J. Johnson, B. H. Clausen, D. Dahl-Jensen, N. S. Gundestrup, C. U. Hammer, C. S. Hvidberg, J. P. Steffensen, A. E. Sveinbjörndóttir, J. Jouzel & G. Bond (1993): Evidence for general instability of past climate from a 250-ka ice-core record- Nature, **364**, 218-220.
- Dansgaard, W. & H. Oeschger (1989): Past environmental long-term records from the Arctic.- In J. H. Oeschger C.C. Langway (Ed.): The Environmental Record in Glaciers and Ice Sheets- Wiley-Interscience, New York, pp. 287-318.
- Deuser, W. G., E. H. Ross, C. Hemleben & M. Spindler (1981): Seasonal changes in species composition, numbers, mass size and isotopic composition of planktic foraminifera settling into the deep Sargasso Sea- Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **33**, 103-127.
- Dieckmann, G. S., M. Spindler & e. al. (1991): Antarctic Sea ice: A habitat for the foraminifera Neogloboquadrina pachyderma- Journal of Foraminiferal Research, **21** (2), 182-189.
- Dietrich, G. (1969): A new atlas of the northern North Atlantic Ocean- Deep-Sea Research, **16**, 31-34.
- Dixon, R. K., S. Brown, R. A. Houghton, A. M. Solomon, M. C. Trexler & J. Wisniewski (1994): Carbon pools and flux of global forest ecosystems- Science, **263**, 185-190.
- Duplessy, J.-C. (1982): North Atlantic deep water circulation during the last climatic cycle- Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine, **31**, 379-391.
- Duplessy, J.-C., L. Labeyrie, A. Juillet-Leclerc, F. Maitre, J. Duprat & M. Sarnthein (1991): Surface salinity reconstruction of the North Atlantic ocean during the last glacial maximum- Ocean. Acta, **14**, 311-324.
- Duplessy, J.-C., N. J. Shackleton, R. Fairbanks, L. Labeyrie, D. Oppo & N. Kallel (1988a): Deep water source variations during the last climatic cycle and their impact on the global deepwater circulation- Paleoceanography, **3**, 343-360.
- Duplessy, J.-C., N. J. Shackleton, R. K. Matthews, W. Prell, W. F. Ruddiman, M. Caralp & C. H. Hendy (1984.):  $\delta^{13}\text{C}$  record of benthic foraminifera in the last Interglacial ocean: Implications for the carbon cycle and the global deep water circulation- Quaternary Research, **21**, 225-243.

- Duplessy, J. C., L. Chenauard & F. Vila (1975): Weyl's theory of glaciation supported by isotopic study of Norwegian core K-11- *Science*, **188**, 1208-1209.
- Duplessy, J. C., L. Labeyrie & P. L. Blanc (1988b): Norwegian sea deepwater variations over the last climatic cycle: paleo-oceanographical implications.- In H. Wanner & X. Siegenthaler (Ed.): Long and short term variability of climate- Springer Verlag, Heidelberg **16**.
- Ellet, D. J. & D. G. Roberts (1973): The overflow of the Norwegian Sea deep water across the Wyville-Thomson Ridge- *Deep-Sea Research*, **20**, 819-835.
- Fairbanks, R. G. (1989): A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation- *Nature*, **342**, 637-642.
- Fairbanks, R. G. & e. al. (1982): Vertical distribution and isotopic fractionation of living planktonic foraminifera from the Panama basin- *Nature*, **298**, 841-844.
- Francis, R. & P. Bacon (1994): Heinrich-events in the North Atlantic: radiochemical evidence- *Deep-Sea Research*, **I (41)** (2), 315-334.
- Frew, R. D. & K. A. Hunter (1992): Influence of southern ocean waters on the cadmium phosphate properties of the global ocean- *Nature*, **360**, 144-146.
- Fronval, T., E. Jansen, J. Bloemendal & S. Johnson (1995): Oceanic evidence for coherent fluctuations in Fennoscandian and Laurentide ice sheets on millennium timescales- *Nature*, **374**, 443-446.
- Ganssen, G. (1983): Dokumentation von küstennahem Auftrieb anhand stabiler Isotope in rezenten Foraminiferen vor Nordwest-Afrika.- In , Meteor Forschungsergeb., Reihe C **37**, 1-46.
- Gehrke, B., K. L. Lackschewitz & H.-J. Wallrabe-Adams (in press): Late Quaternary sedimentation on the Mid-Atlantic Reykjanes Ridge: Clay assemblages and depositional environment- *Geologische Rundschau*.
- Gloerson, P. (1995): Modulation of hemispheric sea-ice cover by ENSO events- *Nature*, **373**, 503-506.
- Grootes, P. M., M. Stuiver, J. W. C. White, S. Johnson & J. Jouzel (1993): Comparison of oxygen isotope records from GISP 2 and GRIP Greenland ice cores- *Nature*, **366**, 552-554.
- Grousset, F. E., L. Labeyrie, J. A. Sinko, M. Cremer, G. Bond, E. Duprat & S. Cortijo (1993): Patterns of ice-rafted detritus in the glacial north Atlantic (40-55° N)- *Paleoceanography*, **8** (2), 175-192.
- Hemleben, C., M. Spindler & O. R. Anderson (1989): Modern planktonic foraminifera.- Springer Verlag, New York, 363 pp.
- Hopkins, T. S. (1991): The GIN-Sea-A synthesis of its physical oceanography and literature review 1972-1985- *Earth-Science Reviews*, **30**, 175-313.
- Jansen, E. & T. Veum (1990): Evidence for two-step deglaciation and its impact on North Atlantic deep water circulation- *Nature*, **343**, 612-616.
- Johannessen, T., E. Jansen & R. A. C. (in prep.): Distribution of oxygen isotopes in recent planktonic foraminifera from the Greenland, Iceland and Norwegian Seas and their relationship to different water masses- .
- Jones, G. A. & D. A. Johnson (1984): Displaced antarctic diatoms in Vema Channel sediments: Late pleistocene/holocene fluctuations in AABW flow- *Marine Geology*, **58**, 165-186.
- Jung, S. (1991):.
- Keigwin, L. D. & E. A. Boyle (1989a): Late Quaternary Paleochemistry of High Latitude Surface Waters- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **73**, 85-106.
- Keigwin, L. D. & E. A. Boyle (1989b): Late quaternary paleochemistry of high- latitude surface waters- *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **73**, 85-106.
- Keigwin, L. D., W. B. Curry, S. J. Lehman & S. Johnson (1994): The role of the deep ocean in North Atlantic climate change between 70-130 ka ago- *Nature*, **371**, 323-326.
- Kellogg, T., J.-C. Duplessy & N. J. Shackleton (1980): Paleoclimatology and paleoceanography of the Norwegian Greenland seas: Glacial and Interglacial contrast- *Boreas*, **9**, 115-137.
- Kellogg, T. B. (1976): Late Quaternary climatic changes: evidence from deep-sea cores of Norwegian and Greenland Seas- *Geological Society of America Memoirs*, **145**, 77-110.
- Kellogg, T. B. (1987): Glacial-interglacial changes in global deepwater circulation- *Paleoceanography*, **2** (3), 259-271.

- Kellogg, T. B., J. C. Duplessy & N. J. Shackleton (1978): Planktonic foraminiferal and oxygen stratigraphy and paleoclimatology of the Norwegian Sea deep sea cores- *Boreas*, **7**, 61-73.
- Kern, R. A. & W. H. Schlesinger (1992): Carbon stores in vegetation- *Nature*, **357**, 447-448.
- Koblentz-Mishke, O. J., V. V. Volkovinsky & J. G. Kabanova (1970): Plankton primary production of the world ocean.- In W. S. Wooster (Ed.): *Scientific exploration of the South Pacific*- National Academy of Sciences, Washington, D.C., 183-193.
- Koc Karpuz, N. & E. Jansen (1992): Last Deglaciation in the SE-Norwegian Sea- *Paleoceanography*, **7** (4), 499-520.
- Kroopnick, P. (1985): The distribution of  $^{13}\text{C}$  of  $\Sigma\text{CO}_2$  in the world oceans- *Deep Sea Res.*, **32**, 57-84.
- Kroopnick, P., R. F. Weiss & H. Craig (1972): Total  $\text{CO}_2$ ,  $^{13}\text{C}$ , and dissolved oxygen- $^{18}\text{O}$  at Geosecs II in the North Atlantic- *Earth Plant. Sci. Lett.*, **16**, 103-110.
- Kutzbach, J. E. & P. J. Guetter (1986): The influence of changing orbital parameters and surface boundary conditions on climate simulations for the past 18.000 years- *Journal of Atmospheric Sciences*, **43**, 1726-1759.
- Labeyrie, L. D., J.-C. Duplessy, J. Duprat, A. Juillet-Leclerc, J. Moyes, E. Michel, N. Kallel & N. J. Shackleton (1992): Changes in the vertical structure of the North Atlantic Ocean between glacial and modern times- *Quat. Sci. Rev.*, **11**, 401-414.
- Labeyrie, L. D. & J. C. Duplessy (1985): Changes in the oceanic  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio during the last 140.000 years: high latitude surface water records- *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **50**, 217-240.
- Labeyrie, L. D., J. C. Duplessy & P. L. Blanc (1987): Variations in mode of formation and temperature of oceanic deep waters over the past 125,000 years- *Nature*, **327**, 477-483.
- Lautenschlager, M. & E. Maier-Reimer (1994): OGCM-constraints to PM's.- In J.-C. Duplessy & M.-T. Spyridakis (Ed.): *Long-Term Climatic Variations: Data and Modelling*- Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, NATO ASI- Series I: Global Environmental Change **22**, 491-510.
- Lehman, S. & L. D. Keigwin (1992): Sudden changes in north Atlantic circulation during the last deglaciation- *Nature*, **356**, 757-762.
- Lonsdale, P. & C. D. Hollister (1979): A near bottom traverse of Rockall Trough: hydrologic and geologic inferences- *Oceanologica Acta*, **2** (1), 91-105.
- Lotter, A. F., B. Ammann, J. Beer, I. Hajdas & M. Sturm (1992): A step towards an absolute time-scale for the Late-Glacial: Annually laminated sediments from Soppensee (Switzerland).- In E. A. Bard & W. S. Broecker (Ed.): *The Last Deglaciation: Absolute and Radiocarbon Chronologies*-, **2**, 45-68.
- Lutze, G. F. & H. Thiel (1987): *Cibicides wuellerstorfi* and *Planulina ariminensis*, elevated epibenthic foraminifera.- No. Ber. 6, Sonderforschungsbereich 313, Universität Kiel, Germany, pp.1-86.
- Lutze, G. F. & H. Thiel (1989): Epibenthic foraminifera from elevated microhabitats (*Cibicides wuellerstorfi*, *Planulina ariminensis*)- *J. Foraminiferal. Res.*, **19**, 153-158.
- Lynch-Stieglitz, J. & R. G. Fairbanks (1994): A conservative tracer for glacial ocean circulation from carbon isotope and palaeo-nutrient measurements in benthic foraminifera- *Nature*, **369**, 308-310.
- MacAyeal, D. R. (1993a): Binge/Purge oscillations of the Laurentide ice sheet as a cause of the North Atlantic's Heinrich events- *Paleoceanography*, **8** (6), 775-784.
- MacAyeal, D. R. (1993b): A low order model of the Heinrich event cycle- *Paleoceanography*, **8** (6), 773-776.
- Mackensen, A., H. Grobe, H.-W. Hubberten & G. Kuhn (1994): Benthic foraminiferal assemblages and the  $\delta^{13}\text{C}$ -signal in the Atlantic sector of the southern ocean: glacial- to -interglacial contrasts.- In R. Zahn, T. F. Pedersen, M. A. Kaminiski & L. D. Labeyrie (Ed.): *Carbon cycling in the glacial ocean: constraints on the ocean's role in global change*- Springer Verlag, Berlin- Heidelberg **I 17**, 105-144.
- Maier-Reimer, E. & M. Mikolajevicz (1989): Experiments with an OGCM on the cause of the Younger Dryas.- In A. Ayala-Castañares, P. Wooster & A. Yáñez-Aranveilia (Ed.): *Oceanography*- UNAM Press, Mexico **39**, 1-13.
- Manighetti, B. & I. N. McCave (1995a): Depositional fluxes, palaeoproductivity, and ice rafting in the NE Atlantic over the last 30 ka- *Paleoceanography*, **10** (3), 579-592.
- Manighetti, B. & I. N. McCave (1995b): Late glacial and Holocene paleocurrents around Rockall-Bank, NE-Atlantic Ocean- *Paleoceanography*, **10** (3), 611-626.



- Manighetti, B., I. N. McCave, M. Maslin & N. J. Shackleton (1995): Chronology for climate change: Developing age models for the Biogeochemical Ocean Flux Study cores- *Paleoceanography*, **10** (3), 513-525.
- Marino, B. D., M. B. McElroy, R. J. Salawitch & W. G. Spaulding (1992): Glacial to inter-glacial variations in  $\delta^{13}\text{C}$  for atmospheric  $\text{CO}_2$ - *Nature*, **357**, 461-465.
- Martinson, D. G., N. G. Pisias, x. Hays, J. Imbrie & x. Moore (1987): Age dating and the orbital theory of the Ice age: development of a high- resolution 0-300.000 year stratigraphy- *Quaternary Research*, **27**, 1-29.
- Maslin, M., N. J. Shackleton & U. Pflaumann (1995): Surface water temperature, salinity and density changes in the NE- Atlantic during the last 45.000 years: Heinrich events, deep water formation and climatic rebounds- *Paleoceanography*, **10** (3), 527-544.
- Maslin, M. A. (1993): A study of the paleoceanography of the N.E. Atlantic in the late Pleistocene.- Ph.D., University of Cambridge, pp. 640
- McCartney (1991): Recirculating components to the deep boundary current of the northern North Atlantik- *Progress of Oceanography*, **29**, 283-383.
- McCartney, M. S., S. L. Bennett & M. E. Woodgate-Jones (1991): Eastward flow through the Mid-Atlantic Ridge at  $11^\circ\text{N}$  and its influence on the abyss of the Eastern Basin- *J. Phys. Oceanogr.*, **21**, 1089-1121.
- McCave, I. N., C. D. Hollister & W. D. Gardner (1980): Sediment transport over the Hatton and Gardar contourite Drifts.- *Journal of Sedimentary Petrology*, **50**, 1049-1062.
- McCave, I. N., B. Manighetti & N. A. S. Beveridge (1995): Circulation in the glacial North Atlantic inferred from grain-size measurements- *Nature*, **374**, 149-152.
- Mix, A. C. & W. F. Ruddiman (1985): Structure and timing of the last deglaciation: Oxygen-isotope evidence- *Quat. Sci. Rev.*, **4**, 59-109.
- Newell, R. E. (1974): Changes in the poleward energy flux by the atmospheric and ocean as a possible cause for ice ages- *Quaternary Research*, **4**, 117-127.
- Oberhänsli, H., C. B  nier, G. Meinecke, H. Schmidt, R. Schneider & G. Wefer (1992): Planktonic foraminifers as tracers of oceanic currents in the Eastern South Atlantic- *Paleoceanography*, **7** (5), 607-632.
- Oppo, D. W. & R. G. Fairbanks (1990): Atlantic ocean circulation of the last 150.000 years: relationship to climate and atmospheric  $\text{CO}_2$ - *Paleoceanography*, **5** (3), 277-288.
- Oppo, D. W. & S. J. Lehman (1993): Mid- depth circulation of the subpolar North Atlantic during the last glacial maximum- *Science*, **259**, 1148-1152.
- Oppo, D. W. & S. L. Lehman (1995): Suborbital timescale variability of North Atlantic Deep Water during the past 200,000 years- *Paleoceanography*, **10** (5), 901-910.
-   stlund, H. G., C. Craig, W. S. Broecker & D. Spencer (Ed.) (1987): GEOSECS Atlantic, Pacific and Indian Ocean Expeditions. Shorebased Data and Graphics.- U.S. Government Printing Office, Washington D. C., 200 pp.
- Ottens, J. J. (1991): Planktic foraminifera as North Atlantic water mass indicators- *Oceanologica Acta*, **14** (2), 123-140.
- Ottens, J. J. (1992a): April and August Northeast Atlantic surface water masses reflected in planktic foraminifera- *Netherlands Journal of Sea Research*, **28** (4), 261-283.
- Ottens, J. J. (1992b): Spatial dynamics of planktic foraminifera in the northeast Atlantic- *Marine Micropaleontology*,.
- Pflaumann, U. (in press): SIMMAX, a transfer technique to deduce Atlantic sea surface temperatures from planktonic foraminifera - the EPOCH aproach- *Paleoceanography*.
- Pickard, G. L. & W. J. Emery (1988): Descriptive Oceanography.- Pergamon Press, Oxford, 280 pp.
- Prentice, I. C., W. Cramer, S. P. Harrison, R. Leemans, R. A. Monserud & A. M. Solomon (1992): A global biome model based on plant physiology and dominance soil properties and climate- *Journal of Biogeography*, **19** , 117-134.
- Prentice, I. C. & M. Sarnthein (1993): Self-regulatory processes in the biosphere in the face of climate change.- In J. Eddy & H. Oeschger (Ed.): Global changes in the Perspective of the Past- John Wiley, New York, pp. 29-38.
- Prentice, K. C. & I. Y. Fung (1990): The sensitivity of terrestrial carbon storage to climate change- *Nature*, **346**, 48-51.

- Rahmsdorf, S. (1994): Rapid climate transitions in a coupled ocean atmosphere model- *Nature*, **372**, 82-85.
- Rahmsdorf, S. (1995): Bifurcations of the Atlantic thermohaline circulation in response to changes in the hydrological cycle- *Nature*, **378**, 145-149.
- Reid, J. L. & R. L. Lynn (1971): On the influence of the Norwegian- Greenland and Weddell seas upon the bottom waters of the Indian and Pacific Oceans- *Deep Sea Research*, **18**, 1063-1088.
- Reid, J. L. & R. L. Lynn (1979): On the contribution of the Mediterranean Sea outflow to the Norwegian-Greenland Sea- *Deep Sea Research*, **26**, 1199-1223.
- Renssen, H., H. Lautenschlager, L. Bengtsson & U. Schulzweida (1995): AGCM experiments on the Younger Dryas.- Max-Planck-Institut, Hamburg, Report No. 173, pp 43.
- Robinson, S. G., M. A. Maslin & N. I. McCave (1995): Magnetic susceptibility variations in upper pleistocene deep-sea sediments of the NE-Atlantic: Implications for ice rafting and paleocirculation at the last glacial maximum- *paleoceanography*, **10** (2), 221-250.
- Ruddiman, W. (1977): Investigations of quaternary climate based on planktonic foraminifera.- In A. T. S. Ramsay (Ed.): *Oceanic Micropaleontology*- Academic Press, London - New York - San Francisco **1**, 101-161.
- Ruddiman, W. F. & A. McIntyre (1981): The north atlantic ocean during the last deglaciation- *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **35**, 145-214.
- Samtleben, C., P. Schäfer, H. Andruleit, A. Baumann, K.-H. Baumann, A. Kohly, J. Matthiessen, A. Schröder-Ritzrau & group (1995): Plankton in the the Norwegian-Greenland Sea: from living communities to sediment assemblages - an actualistic approach- *Geologische Rundschau*, **84**, 108-136.
- Sarnthein, M., E. Jansen, J.-C. Duplessy, H. Erlenkeuser, A. Flatoy, T. Veum, E. Vogelsang & M. S. Weinelt (1992.):  $\delta^{18}\text{O}$  time-slice reconstruction of meltwater anomalies at Termination I in the North Atlantic between 50 and 80°N.- In E. A. Bard & W. S. Broecker (Ed.): *The Last Deglaciation: Absolute and Radiocarbon Chronologies*, **2**, 183-200.
- Sarnthein, M., E. Jansen, M. Weinelt, M. Arnold, J. C. Duplessy, H. Erlenkeuser, M. Maslin, T. Johannessen, N. Koç, A. Flatøy, G. Johannessen, S. Jung, U. Pflaumann & H. Schulz (1995): Variations in Atlantic surface ocean paleoceanography, 50° - 85° N: A time-slice record of the last 55,000 years- *Paleoceanography*, **10** (6), 1063-1094.
- Sarnthein, M. & R. Tiedemann (1990): Younger Dryas-style events at glacial Terminations I-IV: Associated benthic  $\delta^{13}\text{C}$  anomalies at ODP Site 658 constrain meltwater hypothesis- *Paleoceanography*, **6**, 1041-1055.
- Sarnthein, M., K. Winn, S. J. A. Jung, J.-C. Duplessy, L. Labeyrie, H. Erlenkeuser & G. Ganssen (1994): Changes in east Atlantic deepwater circulation over the last 30,000 years: Eight time slice reconstructions- *Paleoceanography*, **9** (2), 209-267.
- Sautter, C. L. & R. C. Thunell (1991): Seasonal variability in the  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  of planktonic foraminifera from an upwelling environment: sediment trap results from the San Pedro Basin, Southern California high- *Paleoceanography*, **6** (3), 307-334.
- Schlitzer, R. (1986):  $^{14}\text{C}$  in the east atlantic- *Radiocarbon*, **28** (2A), 391-396.
- Schmitz Jr., W. J. J. & M. S. McCartney (1993): On the North Atlantic Circulation- *Reviews of Geophysics*, **31** (1), 29-49.
- Schrag, D. P. & D. J. De Paolo (1993): Determination of  $\delta^{18}\text{O}$  of seawater in the deep ocean during the last glacial maximum- *Paleoceanography*, **8** (1), 1-6.
- Schulz, H. (1995): Meeresoberflächentemperaturen vor 10.000 Jahren - Auswirkungen des frühholozänen Insolationsmaximums.- *Berichte, Geologisch Paläontologisches Institut der Universität Kiel*, **73**, pp. 156.
- Shackleton, N. J. (1974): Attainment of isotopic equilibrium between ocean water and the benthic foraminifera: *Uvigerina*: Isotopic changes in the ocean during the last glacial- *Colloques Internationaux du CNRS*, **219**, 203-209.
- Shackleton, N. J. (1977): Carbon-13 in *Uvigerina*: Tropical rainforest history and the equatorial Pacific carbonate dissolution cycles.- In N. R. A. a. A. Malahoff (Ed.): *The Fate of Fossil Fuel in the Oceans*- Plenum Press, New York, pp. 401-447.
- Shackleton, N. J. & M. A. Hall (1984): Oxygen and carbon isotope stratigraphy of Deep-Sea Drilling Project Hole 552A: Plio-Pleistocene glacial history.- In, **81**, 599-601.

- Stommel, H. (1961): Thermohaline convection with two stable regimes of flow- *Tellus*, **13**, 224-230.
- Street-Perrott, F. A. & R. A. Street-Perrott (1990): Abrupt climate fluctuations in the tropics: the influence of Atlantic ocean circulation- *Nature*, **343**, 607-612.
- Stuiver, M., T. Braziunas, B. Becker & K. B. (1991): Climatic, solar, oceanic, and geomagnetic influences on late-Glacial and Holocene atmospheric  $\delta^{14}\text{C}/\delta^{12}\text{C}$  change- *Quat. Res.*, **35**, 1-24.
- Taylor, K. C., C. U. Hammer, R. B. Alley, H. B. Clausen, D. Dahl-Jensen, A. J. Gow, N. S. Gundestrup, J. Kipfstuhl, J. C. Moore & E. D. Waddington (1993): Electrical conductivity measurements from GISP 2 and GRIP Greenland ice cores- *Nature*, **366**, 549-552.
- Taylor, K. C., G. W. Lamorey, G. A. Doyle, R. B. Alley, P. M. Grootes, P. A. Mayewski, J. W. C. White & L. K. Barlow (1993b): The 'flickering switch' of late Pleistocene climate change- *Nature*, **361**, 432-436.
- Tissot, B. P. & D. H. Welte (1984): *Petroleum Formation and Occurrence*.- Springer-Verlag, New York, 699 pp.
- Thiede, J. (1980): The late Quaternary marine paleoenvironments between Europe and Africa- *Paleoecology of Africa*, **276**, 680-683.
- Thomas, E., L. Booth, M. Maslin & N. J. Shackleton (1995): Northeastern Atlantic benthic foraminifera during the last 45,000 years: Changes in productivity seen from the bottom top- *Paleoceanography*, **10** (3), 545-562.
- Trauth, M. H. (1995): Bioturbate Signalverzerrung hochauflösender paläoozeanographischer Zeitreihen.- *Berichte-Reports*, Geologisch-Paläotologisches Institut der Universität Kiel, No. **74**, 167 pp.
- Veum, T., E. Jansen, M. Arnold, I. Beyer & J.-C. Duplessy (1992): Watermass exchange between the North Atlantic and the Norwegian Sea during the past 28,000 years- *Nature*, **356**, 783-785.
- Völker, A., M. Sarnthein & H. Erlenkeuser (1995): Evolution of the Water exchange across the Denmark Strait- A stable Isotope Record off Northern Iceland- ICP-V abstract.
- Vogelsang, E. (1990): Paläo-Ozeanographie des Europäischen Nordmeeres an Hand stabiler Kohlenstoff- und Sauerstoffsotope.- *Dissertation an der Christian - Albrechts - Universität zu Kiel*, pp.136
- Weaver, A. J., E. S. Sarachik & J. Marotzke (1991): Freshwater flux forcing of decadal and interdecadal oceanic variability- *Nature*, **353**, 836-838.
- Weinelt, M. (1993): Veränderungen der Oberflächenzirkulation im Europäischen Nordmeer während der letzten 60 000 Jahre- Hinweise aus stabilen Isotopen.- *Ph.D. thesis*, University of Kiel, Kiel, Germany, 106 pp.
- Weinelt, M. S., M. Sarnthein, H. Schulz & S. Jung (in press): Ice-free Nordic Seas during the Last Glacial Maximum? - Potential sites of deepwater formation.- *Paleoclimats: Data and Modelling*, **3**.
- Weinelt, M. S., M. Sarnthein, E. Vogelsang & H. Erlenkeuser (1991): Early decay of the Barents Shelf Ice Sheet Spread of stable isotope signals across the Eastern Norwegian Sea- *Nor. Geol. Tidsskrift*, **71** (3), 137-140.
- Weiss, R. F., H. G. Östlund & H. Craig (1979): Geochemical studies of the Wedell Sea- *Deep Sea Research*,.
- Weyl, P. (1968): The role of the oceans in climatic change: A theory of the ice ages- *Meteorological Monograph*, **8**, 37-62.
- Winn, K., M. Sarnthein & H. Erlenkeuser (1991):  $\delta^{18}\text{O}$  stratigraphy and age control of Kiel sediment cores in the East Atlantic.- No. Ber. 45, pp. 1-99,). *Geol. Paläont. Inst. University of Kiel*.
- Worthington, L. V. (1970): The Norwegian Sea as a mediteranian basin- *Deep Sea Research*, **17**, 77-84.
- Zahn, R. (1986): Spätquartäre Entwicklung von Küstenauftrieb und Tiefenwasserzirkulaiton im Nordost-Atlantik. Rekonstruktion anhand stabiler Isotope Kalkschaliger Foraminiferen.- *Doktorarbeit*, Kiel, pp. 111.
- Zahn, R. & A. C. Mix (1991): Benthic foraminiferal  $\delta^{18}\text{O}$  in the ocean's temperature- salinity- chemistry field: constraints on ice age thermohaline circulation- *Paleoceanography*, **6** (1), 1-20.
- Zahn, R., M. Sarnthein & H. Erlenkeuser (1987): Benthos isotopic evidence for changes of the Mediterranean outflow during the late Quaternary- *Paleoceanography*, **2**, 543-559.
- Zahn, R., K. Winn & M. Sarnthein (1986): Benthic foraminiferal  $\delta^{13}\text{C}$  and accumulation rates of organic carbon: *Uvigerina peregrina* group and *Cibicidoides wuellerstorfi*- *Paleoceanography*, **1** (1), 27-42.
- Zahn, R., J. Schönfeld, H.-R. Kudrass, U. Pflaumann, D. K. Sinha, H. Erlenkeuser & M. H. Park (submitted): Surface hydrology and thermohaline instability in the N-Atlantic caused by Meltwater injection during Heinrich Events: Core SO75-26K1, Portuguese Margin- *Paleoceanography*.

## Datenanhang

**Tab. A.**  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopenwerte von *C. wuellerstorfi*, *G. bulloides* und *N. pachyderma* (sin.) sowie Wasser- und Grobfraktionsgehalte aus Proben der neu bearbeiteten Sedimentkerne (Daten von Kern 17045 und 17048 z. T. von K. Winn, unpubliziert). Die Altersschätzwerte sind in Kalendar- und Radiocarbon-Jahren angegeben.

**Tab. B.** In 500-Jahre-Schritten gemittelte  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopendaten für die letzten 80 000 Jahre von *C. wuellerstorfi* aus Abb. 11.

Tab. A

Core 17045				
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	C. wuellerstorfi δ18 O [‰]   δ13 C [‰]	
2.	0.71	0.66	2.65	0.76
5.	1.77	1.64	2.59	0.87
7.	2.47	2.29	2.53	0.82
10.	3.53	3.28	2.68	0.72
15.	5.29	4.91	2.62	0.77
20.	7.05	6.55	2.72	0.74
25.	7.75	7.2	2.6	0.8
30.	8.45	7.85	2.8	0.77
34.	8.99	8.34	2.86	0.85
38.	9.52	8.84	2.78	0.89
40.	9.79	9.09	2.98	0.8
42.	10.38	9.39	2.8	0.69
45.	11.27	9.83	2.89	0.85
46.5	11.71	10.05	2.89	0.65
48.	12.15	10.28	3.06	0.7
50.	14.	12.	3.49	0.62
52.5	14.11	12.11	3.51	0.42
57.5	14.32	12.32	3.46	0.36
60.	14.43	12.43	3.59	0.72
62.5	14.81	12.81	3.55	0.38
67.5	15.57	13.13	4.25	0.07
68.	15.65	13.13	3.53	0.28
70.	15.96	13.15	4.39	0.18
72.5	16.34	13.18	4.36	0.14
77.5	17.1	13.6	3.94	0.02
80.	18.3	14.8	4.26	-0.18
82.5	18.92	15.42	4.37	0.26
90.	19.7	16.2	4.52	0.26
92.5	19.92	16.42	4.47	0.28
99.	20.61	17.11	4.11	0.31
107.5	21.3	17.8	4.39	0.23
110.	21.5	18.	4.66	0.14
112.5	21.71	18.21	4.31	0.1
120.	22.5	19.	4.4	0.22
122.5	22.76	19.26	4.33	0.05
165.	27.72	24.22	3.74	0.25
169.5	28.25	24.75	4.12	0.28
176.	29.02	25.52	3.55	0.28
185.	30.45	26.95	3.67	0.27
190.	31.39	27.89	4.22	0.29
195.	32.34	28.84	4.01	0.38
199.	33.09	29.59	4.01	0.58
210.	35.17	31.67	4.05	0.4
220.	37.06	33.56	4.	0.47
232.5	39.43	35.93	3.66	0.
250.	42.74	39.24	3.85	1.2
260.	44.63	41.46	3.87	0.53
267.5	46.05	43.29	4.16	0.55
270.	46.52	43.9	3.71	0.31
272.5	46.99	44.51	3.82	0.4
281.5	48.69	46.71	3.62	-0.43
282.5	48.88	46.95	4.01	0.96
292.5	50.77	49.39	3.98	0.66
297.5	51.72	50.62	4.02	0.64
299.	52.	50.98	3.61	0.65
302.5	52.66	51.84	3.99	0.83
305.	53.14	52.45	3.85	0.83
312.5	54.55	54.28	3.85	0.67
317.5	55.5	55.5	3.22	0.37
322.5	56.48	56.48	3.73	0.43
327.5	57.46	57.46	3.73	0.23
332.5	58.44	58.44	4.01	0.62
337.5	59.42	59.42	3.94	0.47
342.5	60.4	60.4	4.09	0.1
347.5	61.78	61.78	3.85	-0.29
352.50	63.16	63.16	4.15	0.23
355.00	63.84	63.84	4.03	0.00
357.50	64.53	64.53	4.16	-0.09
372.50	68.67	68.67	4.07	0.08
380.00	70.73	70.73	3.60	0.52
382.50	71.42	71.42	4.01	0.57
387.50	72.80	72.80	4.22	0.58
395.00	74.87	74.87	3.63	0.36
399.00	75.97	75.97	3.42	0.79
402.50	76.93	76.93	3.40	0.81
405.00	77.62	77.62	3.44	0.74
410.00	79.00	79.00	2.54	-0.51
420.00	82.07	82.07	3.21	0.43
422.50	82.83	82.83	3.31	0.74

Tab. A

Core 17045				
Depth [cm]	Age		C. wuellerstorfi	
	Cal. ka	C14-ka	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]
430.00	85.13	85.13	2.27	-0.42
440.00	88.20	88.20	2.70	0.31
442.50	88.97	88.97	3.35	0.57
447.50	90.50	90.50	3.66	0.29
450.00	91.27	91.27	3.50	0.47
452.50	92.03	92.03	3.33	0.62
455.00	92.80	92.80	3.61	0.64
460.00	94.33	94.33	3.19	0.71
462.50	95.10	95.10	3.43	0.82
465.00	95.87	95.87	3.41	0.80
467.50	96.63	96.63	3.34	0.71
470.00	97.40	97.40	3.00	0.55
472.50	98.17	98.17	3.33	0.63
480.00	100.47	100.47	2.99	0.62
510.00	109.67	109.67	3.33	0.63
520.00	112.73	112.73	3.19	0.50
530.00	115.80	115.80	2.73	0.73
560.00	125.00	125.00	2.37	0.69
570.00	127.50	127.50	3.28	0.20
590.00	132.50	132.50	3.24	0.18
600.00	135.00	135.00	4.24	0.10
640.00			3.93	0.09
660.00			3.79	-0.27
670.00			3.96	-0.02
680.00			4.10	0.24
690.00			3.80	0.21
700.00			3.59	0.41
710.00			3.61	-0.02
720.00			3.84	0.13
730.00			3.33	0.39
740.00			3.00	0.44
750.00			2.69	0.51
760.00			3.19	0.70
770.00			2.54	0.46
780.00			2.96	0.33
790.00			3.46	-0.54
810.00			2.00	-1.39
820.00			3.59	0.24
830.00			3.11	-0.43
836.00			4.37	0.96

Tab. A

Core 17048								
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)	
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]
2.	0.46	0.43	1.32	-0.15	2.47	1.34		
5.	1.12	1.04	1.19	-0.15	2.56	1.34		
10.	2.22	2.06	1.26	-0.25	2.49	1.27		
13.5	2.99	2.78			2.47	1.31		
14.5	3.21	2.98			2.68	1.35		
15.	3.32	3.08	1.08	-0.1	2.35	1.29		
15.5	3.43	3.18			2.3	1.14		
16.5	3.65	3.39			2.53	1.38		
17.5	3.87	3.59			2.46	1.09		
20.	4.42	4.1	1.19	-0.39	2.52	1.26		
23.	5.08	4.71	1.49	-0.67	2.81	1.06		
24.	5.3	4.92	1.48	-0.39	2.76	1.46		
26.	5.74	5.33			2.4	1.21		
31.	6.83	6.35	1.13	-0.16	2.54	1.29		
34.5	7.6	7.06			3.21	0.95		
36.	7.93	7.37			2.11	1.11	3.01	-0.05
39.5	8.7	8.08			2.49	1.24		
40.5	8.92	8.28			2.56	1.25		
41.	9.03	8.39	1.07	-0.59	2.57	1.27	2.87	0.22
41.5	9.14	8.49			3.01	1.28		
42.5	9.36	8.69			2.56	1.32		
43.5	9.58	8.9			2.63	1.		
44.5	9.8	9.1			2.35	1.09		
45.5	10.67	9.53			2.62	1.18		
46.	11.1	9.75			2.27	1.24	3.14	0.18
46.5	11.53	9.97			2.95	1.19		
47.5	12.4	10.4			3.25	1.		
48.5	12.75	10.75			2.86	0.99		
49.5	13.1	11.1			3.26	1.02		
50.5	13.44	11.44			3.11	0.84		
51.	13.62	11.62	1.21	-0.57	3.14	1.13	2.97	0.21
51.5	13.79	11.79			2.96	0.98		
52.5	14.14	12.14			2.91	1.01		
53.5	14.49	12.49			3.02	0.85		
54.5	14.84	12.84			3.14	0.91		
56.	15.36	13.12			2.9	1.08	3.15	0.28
61.	17.1	13.6	2.45	-0.55	3.01	0.36	3.35	-0.04
66.	17.7	14.2			4.23	0.84	3.97	0.02
71.	18.3	14.8	2.11	-0.83	4.59	1.26	4.14	-0.28
76.	19.05	15.55			3.56	1.2	3.97	-0.38
81.	19.79	16.29	1.67	-0.7	4.49	1.25	4.09	-0.5
86.	20.54	17.04			3.75	1.03	3.78	-0.18
91.	21.29	17.79	3.88	-0.76	4.52	1.11	4.	-0.45
96.	22.03	18.53			3.88	1.18	4.13	-0.31
101.	22.78	19.28	1.95	-0.62	3.07	0.81	3.94	-0.42
106.	23.53	20.03			3.85	1.25	3.97	-0.18
111.	24.27	20.77	3.16	-0.52	4.44	1.26	4.02	-0.22
116.	25.02	21.52			4.06	1.12	4.02	-0.13
120.	25.62	22.12	3.1	-0.63	4.3	1.09	4.05	-0.31
126.	26.51	23.01			4.	1.12	3.83	-0.37
131.	27.26	23.76	2.9	-0.23	3.83	1.17	4.11	-0.55
136.	28.01	24.51			4.02	1.31	3.53	-0.89
141.	28.75	25.25	2.86	-0.03	4.35	1.18	3.96	-0.53
146.	29.5	26.			3.65	0.91	3.65	-0.44
151.	30.59	27.09	2.84	-0.34	4.	0.81	3.57	-0.3
156.	31.68	28.18			3.58	0.97	2.99	-0.64
161.	32.77	29.27	2.9	-0.09	3.97	1.22	3.89	-0.42
166.	33.86	30.36			3.58	1.24	2.84	-0.35
171.	34.95	31.45	2.99	-0.03	3.94	1.15	3.75	-0.07
176.	36.04	32.54			3.4	1.02	3.51	-0.04
181.	37.13	33.63	3.43	-0.74	3.91	1.13	3.28	-0.35
186.	38.22	34.72					3.63	0.03
196.	40.4	36.9					3.62	-0.38
206.	42.58	39.08					3.36	-0.31
216.	44.76	41.63					3.42	-0.15

Tab. A

Core17049										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 µm (w-%)
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
2.	0.2	0.18	1.83	-0.06						
10.	0.99	0.92	1.63	-0.02	2.66	0.49			152.52	
12.5	1.24	1.15	1.47	-0.09	2.81	1.17			139.62	11.01
15.	1.48	1.38							136.56	9.58
17.5	1.73	1.61	1.54	-0.14	2.7	0.67			133.49	11.29
20.	1.98	1.84	1.52	-0.02	2.59	0.93			145.88	
22.5	2.23	2.07							133.75	9.88
25.	2.47	2.3							138.36	10.23
27.5	2.72	2.53							135.72	7.82
30.	2.97	2.76	1.47	-0.31	2.73	0.66	2.03	0.36	135.91	
32.5	3.22	2.99							135.94	
35.	3.46	3.22							121.18	13.12
37.5	3.71	3.45							130.25	10.82
40.	3.96	3.68	1.24	-0.4	2.61	0.45	2.3	0.19	129.41	
42.5	4.21	3.91							130.98	10.63
45.	4.45	4.14							126.93	13.16
47.5	4.7	4.37							126.02	12.
50.	4.95	4.6	1.2	-0.5	2.68	1.06	2.16	0.15	130.56	
52.5	5.2	4.83	1.34	-0.43	2.76	1.04			129.98	11.85
55.	5.44	5.06	1.47	-0.37	2.92	1.01			127.61	12.36
57.5	5.69	5.29	1.43	-0.52	2.8	0.9			130.5	18.82
60.	5.94	5.52	1.34	-0.47	2.76	1.2	2.03	0.26	130.44	
62.5	6.19	5.74	1.44	-0.32	2.76	1.07			122.65	10.92
65.	6.43	5.97	1.31	-0.54					125.32	8.91
67.5	6.68	6.2	1.22	-0.49	2.78	0.87			130.67	8.25
70.	6.93	6.43	1.38	-0.76			2.59	-0.04	132.71	
72.5	7.18	6.66	1.38	-0.31					144.08	7.92
75.	7.42	6.89	1.23	-0.7					145.06	5.19
77.5	7.67	7.12	1.28	-0.58					133.38	6.1
80.	7.92	7.35	0.79	-1.03	2.73	0.99	2.75	0.22	141.7	
82.5	8.17	7.58	1.36	-0.76					125.26	5.61
85.	8.41	7.81	1.25	-0.65					115.98	3.22
87.5	8.66	8.04	1.54	-0.85					97.68	1.38
90.	8.91	8.27	1.27	-0.75			2.99	0.22	117.89	
92.5	9.16	8.5	1.4	-0.49	2.63	1.13			99.73	5.56
95.	9.4	8.73	1.57	-0.71			3.28	0.06	83.64	0.83
97.5	9.65	8.96	1.05	-0.79			2.95	0.18	108.2	3.9
99.	9.8	9.1	1.45	-0.86	2.6	0.99	2.93	0.19	96.14	
102.5	9.82	9.11							86.75	0.33
105.	9.84	9.12							90.96	0.37
107.5	9.85	9.13					2.91	0.	94.43	0.18
110.	9.87	9.13	1.76	-1.1			3.12	0.2	103.21	
112.5	9.88	9.14	1.93	-0.56			3.31	0.22	81.92	1.35
115.	9.9	9.15							88.71	0.98
117.5	11.15	9.78	1.91	-0.84			3.42	0.3	62.73	15.34
120.	12.4	10.4	2.	-0.78	3.54	0.81	3.27	0.28	113.37	
122.5	12.79	10.79	1.99	-0.82	2.94	1.09	3.51	0.31	113.97	24.83
125.	13.18	11.18	2.09	-0.65	3.28	0.69	3.65	0.31	112.7	26.96
127.5	13.58	11.58	2.23	-0.73	3.37	0.46	3.66	0.24	112.7	23.96
130.	13.97	11.97	2.32	-0.91	3.45	0.42	2.64	-0.18	144.89	
132.5	14.36	12.36	2.46	-0.41	3.36	0.9	3.66	0.15	114.81	19.75
135.	14.75	12.75	2.46	-0.44	3.63	0.5	3.29	0.17	112.67	23.96
137.5	15.14	13.1	2.46	-0.64	3.53	0.54	3.86	0.14	112.48	22.91
140.	15.53	13.13	2.47	-0.59	3.92	0.49	3.14	-0.15	115.86	
142.5	15.93	13.15	2.4	-0.5	3.67	0.36	3.95	0.1	123.08	22.39
145.	16.32	13.18	2.45	-0.49	4.19	0.42	4.1	0.	117.7	23.61
147.5	16.71	13.21	2.08	-0.71	2.64	1.1	4.15	0.15	127.05	21.07
150.	17.1	13.6	2.53	-0.68	3.9	0.27	3.96	-0.17	130.21	
152.5	18.3	14.8	2.45	-0.58	4.52	0.57	4.47	0.08	116.43	26.74
155.	18.69	15.19	2.42	-0.52	4.38	0.45	4.45	0.02	135.24	23.01
157.5	19.09	15.59					4.55	0.15	122.02	25.93
160.	19.48	15.98	3.46	-0.62	4.41	0.47	4.32	0.07	125.98	
162.5	19.88	16.38	3.39	-0.34			4.42	0.15	119.26	26.31
165.	20.27	16.77	3.09	-0.42	4.53	0.43	4.34	0.13	128.15	23.07
167.5	20.66	17.16	3.22	-0.3			4.39	0.17	115.96	22.71
170.	21.06	17.56	3.24	-0.53	3.87	0.09	4.26	-0.05	123.85	
172.5	21.45	17.95	3.2	-0.33	4.15	0.41	4.19	0.08	126.33	20.06
175.	21.84	18.34	2.73	-0.11			4.23	0.1	121.24	22.38
177.5	22.24	18.74	3.13	-0.23	4.24	0.41	4.36	0.14	111.62	23.87
180.	22.63	19.13	3.14	-0.41	4.18	0.69	4.14	0.04	120.13	
182.5	23.03	19.53	3.18	-0.34	4.1	0.62	4.17	0.15	114.15	17.23
185.	23.42	19.92	2.89	-0.27	4.27	0.61			121.56	14.7
187.5	23.81	20.31	2.97	-0.13			4.1	0.18	107.21	18.85
190.	24.21	20.71	3.16	-0.28			4.13	0.02	110.96	
192.5	24.6	21.1	3.09	-0.18	4.35	1.11	4.1	0.28	105.57	19.04
195.	25.05	21.55	2.78	-0.19			4.05	0.25	104.01	15.76
197.5	25.49	21.99	3.1	-0.15	4.08	0.53	4.07	0.17	112.01	14.51
199.	25.76	22.26	3.21	-0.2	4.21	0.92	3.97	0.31	115.96	
202.5	26.38	22.88	3.19	-0.08			4.05	0.19	129.06	12.57



Tab. A

Core17049										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 µm (w-%)
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
205.	26.83	23.33	3.1	-0.08			4.04	0.23	129.25	9.1
207.5	27.27	23.77	3.3	-0.25					144.18	8.7
210.	27.72	24.22	3.15	-0.39	4.27	1.29	4.12	0.22	150.5	
212.5	28.16	24.66	3.1	-0.09			3.97	0.11	149.3	2.23
215.	28.61	25.11	3.01	-0.15			3.8	0.24	138.29	3.95
217.5	29.05	25.55	3.46	-0.09			4.22	0.27	154.55	1.18
220.	29.5	26.	3.27	-0.23	4.14	0.6	4.05	0.33	141.17	
222.5	29.5	26.	3.38	-0.15			4.27	0.3	136.55	0.39
225.	29.53	26.03	3.13	0.13			3.8	0.28	149.65	0.28
226.	29.54	26.04								
227.5	29.55	26.05					4.17	0.	143.94	0.12
230.	29.58	26.08					3.87	0.1	144.17	
232.5	29.6	26.1							136.46	0.16
240.	29.68	26.18					4.21	0.07	131.46	
250.	29.78	26.28							62.1	
255.	29.83	26.33					3.95	-0.32		
260.	29.88	26.38							91.26	
267.5	29.95	26.45					3.97	0.25		
270.	29.98	26.48	3.06	-0.27			3.83	0.36	41.99	
272.5	30.	26.5	2.95	-0.05	4.04	0.78	3.13	-0.07	105.3	22.63
275.	30.71	27.21	2.6	-0.15	4.1	1.19	3.87	0.27	108.81	19.88
277.5	31.42	27.92	2.85	0.1	4.04	0.84	3.94	0.28	104.38	23.19
280.	32.13	28.63	2.96	-0.24	3.97	0.78	3.9	0.33	118.31	
282.5	32.83	29.33	2.85	-0.14	4.09	0.97			113.75	20.35
285.	33.54	30.04	2.67	-0.15			3.87	0.23	109.23	19.68
287.5	34.25	30.75	2.8	-0.26	4.14	1.06	3.34	-0.05	102.56	17.57
290.	34.96	31.46	2.92	-0.47	4.06	0.83	3.96	0.35	133.82	
292.5	35.67	32.17	2.65	-0.12	4.16	0.81	3.85	0.24	106.28	20.99
295.	36.38	32.88	2.48	-0.58	4.17	0.98	3.82	0.25	105.65	17.76
297.5	37.08	33.58	2.27	-0.65	3.94	0.94	3.89	0.27	103.32	21.33
299.	37.51	34.01	2.83	-0.55	3.82	0.76	3.88	0.36	102.46	
302.5	38.5	35.	2.78	-0.42	3.86	0.99	3.77	0.22	103.21	23.54
305.	39.21	35.71	2.21	-0.73	3.93	1.12	3.78	0.18	103.8	22.42
307.5	39.92	36.42	2.69	-0.46	4.15	1.07	3.57	0.13	109.37	24.17
310.	40.63	37.13	2.55	-0.7	3.45	0.68	3.78	0.2	108.06	
312.5	41.33	37.83	2.52	-0.5	3.93	1.04	3.57	0.	109.13	21.17
315.	42.04	38.54	2.29	-0.68	4.02	0.99	3.77	0.15	106.93	22.24
317.5	42.75	39.25	2.55	-0.51	4.06	0.97	3.78	0.1	114.24	22.23
320.	43.46	39.96	2.04	-0.89	3.85	1.09	3.87	0.17	107.47	
322.5	44.17	40.86	2.63	-0.29	4.01	0.86	3.65	0.02	94.64	17.92
325.	44.88	41.78	2.06	-0.72	4.09	1.18	3.6	-0.05	91.14	18.17
327.5	45.58	42.69	2.6	-0.42	4.06	1.2			91.63	20.04
330.	46.29	43.61	2.72	-0.45	3.82	0.89	3.53	-0.05	95.76	
332.5	47.	44.52	2.64	-0.54	3.89	1.16	3.	-0.29	98.47	23.24
335.	47.71	45.44	2.41	-0.58	4.	1.	3.59	-0.03	98.11	25.7
337.5	48.42	46.35	2.85	-0.35	3.86	0.78	3.67	0.02	100.31	19.78
340.	49.13	47.27	2.72	-0.62			3.67	0.09	103.19	
342.5	49.83	48.18	2.48	-0.59	3.88	0.99	3.62	-0.14	101.1	20.83
345.	50.54	49.1			4.02	0.85	3.55	0.04	95.55	21.23
347.5	51.25	50.01	2.56	-1.11			3.44	-0.17	97.93	19.64
350.	51.96	50.93	2.69	-0.84	3.43	0.8	3.56	-0.13	102.79	
352.5	52.67	51.84	2.75	-0.84	3.93	1.05	3.39	-0.11	104.16	14.49
355.	53.38	52.76	2.41	-1.03	4.01	1.05	3.7	-0.09	103.89	18.32
357.5	54.08	53.67	2.66	-1.06	3.98	0.61	3.41	-0.12	97.37	17.23
360.	54.79	54.59	2.59	-0.83	3.39	0.76	3.45	-0.07	112.93	
362.5	55.5	55.5	2.6	-0.8			3.16	-0.13	108.86	18.48
365.	57.13	57.13	2.3	-0.35			3.37	-0.08	113.04	19.27
367.5	58.77	58.77	2.53	-0.53			4.09	0.05	90.33	20.49
370.	60.4	60.4	2.99	-0.57	3.89	0.2	4.19	0.07	100.76	
372.5	61.2	61.2	2.71	-0.23	4.13	0.92	3.97	-0.01	100.02	16.13
375.	62.	62.	2.29	-0.21			4.16	0.2	95.09	18.42
377.5	62.8	62.8							96.52	17.76
379.	63.28	63.28	2.32	-0.25	3.59	1.09	4.29	0.17	100.29	
382.5	64.39	64.39	2.41	-0.05	4.16	0.53	4.28	0.15	75.15	19.83
385.	65.19	65.19	2.21	-0.31	3.39	0.35	3.82	-0.05	103.14	15.8
387.5	65.99	65.99	2.21	-0.17	2.55	0.1	3.26	-0.1	101.6	16.69
389.	66.47	66.47	2.34	-0.34			3.94	0.12	109.28	
392.5	67.59	67.59	2.27	-0.16	3.96	0.87	3.66	0.28	109.49	17.65
395.	68.39	68.39	2.26	-0.25	3.62	1.33	3.52	0.09	112.78	16.5
397.5	69.19	69.19	2.33	-0.12	3.6	1.03	3.54	0.14	102.69	21.15
399.	69.67	69.67	2.45	-0.52	3.22	0.98	3.48	0.22	105.77	
402.5	70.78	70.78	2.38	-0.08	3.6	0.86			99.36	23.72
405.	71.58	71.58	2.13	-0.32	3.72	1.1			101.93	19.39
407.5	72.38	72.38	2.37	-0.22	3.8	1.14			103.3	16.52
409.	72.86	72.86	2.24	-0.47			3.44	0.38	109.	
412.5	73.98	73.98	2.66	-0.03	3.46	0.76			98.69	17.03
415.	74.78	74.78	2.42	0.02	3.22	0.82			97.56	18.64
417.5	75.58	75.58	2.55	-0.16	3.65	1.	3.31	0.16	88.23	21.59
419.	76.06	76.06	2.53	-0.33	3.5	1.32	3.19	0.38	92.59	

Tab. A

Core17049										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 µm (w-%)
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
422.5	77.17	77.17	2.42	-0.19	3.39	1.1			92.56	22.11
425.	77.97	77.97			3.39	0.83			95.63	25.71
427.5	78.77	78.77	2.55	-0.14	3.14	0.74			103.44	22.15
429.	79.25	79.25	2.61	-0.29	3.27	0.71	2.98	0.35	111.68	
432.5	81.07	81.07	2.44	-0.3	3.39	1.06			101.6	22.28
435.	82.37	82.37	2.29	-0.34	3.34	0.54			107.02	26.07
437.5	83.67	83.67	2.28	-0.68	3.3	0.51			105.06	14.93
440.	84.98	84.98	2.48	-0.4					106.69	
442.	86.02	86.02	2.34	-0.3	3.87	1.08	3.18	0.19	97.8	21.18
445.	87.58	87.58	2.16	-0.3	3.39	0.99			100.82	21.88
447.5	88.88	88.88	2.05	-0.34	3.4	1.13			87.66	19.72
450.	90.18	90.18	2.26	-0.49	3.	1.09			85.73	
452.5	91.48	91.48	2.28	-0.52	3.89	0.98			105.04	20.29
455.	92.78	92.78	2.21	-0.23	3.56	1.21			100.64	15.58
457.5	94.08	94.08	2.1	-0.4					106.68	18.81
460.	95.39	95.39	2.29	-0.49					101.42	
462.5	96.69	96.69	2.04	-0.42	3.48	1.07			98.77	18.14
465.	97.99	97.99	2.16	-0.46	3.64	1.03			99.03	22.33
467.5	99.29	99.29	2.21	-0.36	3.54	1.32	3.	0.17	94.21	21.92
470.	100.59	100.59	2.18	-0.79					95.13	
480.	105.8	105.8			3.08	1.13			98.21	
490.	111.	111.	2.94	-0.45	3.46	1.08			97.19	
500.	113.	113.	1.94	-0.76	3.2	0.49			99.02	
510.	115.	115.	2.02	-0.59	3.25	0.83			107.34	
520.	117.	117.	1.64	-0.62	2.76	0.82			111.64	
530.	119.	119.	1.61	-0.71	2.4	0.77			103.6	
540.	121.	121.	1.6	-0.79	2.57	0.76			107.28	
550.	123.	123.	1.27	-0.79	2.58	0.45			99.71	
555.	124.	124.			2.56	0.64				
560.	125.	125.	1.02	-0.78	2.4	0.28			105.76	
565.	126.25	126.25			2.6	0.71				
570.	127.5	127.5	1.43	-1.3	2.57	0.56			114.39	
575.	128.75	128.75			2.58	0.68				
580.	130.	130.	1.54	-1.3					92.42	
585.	131.25	131.25								
590.	132.5	132.5	3.31	-1.05					81.8	
595.	133.75	133.75			4.41	0.45				
600.00	135.00	135.00	3.60	-1.00	4.65	0.63			98.85	
605.00	136.00	136.00			4.51	0.33				
610.00	137.00	137.00	3.42	-1.01	4.30	0.23			107.87	
620.00	139.00	139.00	3.30	-1.26	4.11	-0.12			99.16	
630.00	141.00	141.00	2.89	-1.21					98.98	
640.00	146.20	146.20	3.21	-1.00					102.36	
650.00	146.36	146.36							117.22	
660.00	146.52	146.52							109.53	
670.00	146.68	146.68							67.34	
680.00	146.84	146.84							148.74	
690.00	147.00	147.00	2.92	-0.77					104.94	
700.00	150.29	150.29	2.84	-0.82					93.23	
710.00	153.58	153.58	2.72	-0.86					96.87	
720.00	156.88	156.88	2.56	-1.24					108.02	
730.00	160.17	160.17	2.71	-1.04					113.93	
740.00	163.46	163.46	2.67	-1.16					128.32	
750.00	166.75	166.75	2.60	-1.13					135.95	
760.00	170.05	170.05	2.49	-1.18					135.42	
770.00	173.34	173.34							144.43	
780.00	176.63	176.63	2.34	-0.69					113.79	
790.00	179.92	179.92	2.46	-0.93					111.88	
800.00	183.21	183.21							107.75	
810.00	186.51	186.51	1.86	-0.64	3.00	1.06			104.99	
820.00	189.80	189.80	1.86	-0.73					120.24	
830.00	193.09	193.09	1.43	-0.92					105.90	
840.00	197.10	197.10							121.15	
850.00	201.11	201.11	1.61	-0.85	1.82	0.42			99.92	
860.00	205.12	205.12	1.55	-1.02	2.71	0.63			104.91	
870.00	209.13	209.13	1.50	-1.02	2.75	0.88			122.06	
880.00	213.13	213.13	1.62	-1.01					109.30	
890.00	217.14	217.14	1.61	-0.79	2.77	0.86			140.01	
900.00	221.15	221.15	1.71	-1.12	2.74	-0.04			144.73	
910.00	225.16	225.16	2.19	-1.04					134.06	
920.00	226.92	226.92	1.98	-0.85					127.63	
930.00	228.68	228.68	2.04	-1.03					130.27	
940.00	230.44	230.44	1.98	-0.80	3.87	0.57			125.67	
950.00	232.20	232.20	2.01	-0.70					116.67	
960.00	233.96	233.96	1.82	-0.61	3.13	0.87			108.15	
970.00	235.72	235.72	1.48	-0.81	3.02	0.98			109.44	
980.00	237.48	237.48	1.26	-0.92	2.92	1.06			122.15	
990.00	239.24	239.24	1.32	-0.92					110.68	
1000.00	241.00	241.00	1.03	-1.11					141.78	

Tab. A

Core17049									
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]
			$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	>63 $\mu\text{m}$ (w-%)
1010.00	243.20	243.20	1.25	-1.32					131.88
1020.00	245.40	245.40	2.40	-1.14					94.66
1030.00	247.60	247.60	2.46	-1.05					84.95
1040.00	249.62	249.62							44.78
1050.00	251.64	251.64							215.91
1060.00	253.66	253.66							184.48
1070.00	255.68	255.68							90.47
1080.00	257.70	257.70	2.68	-0.88					91.55
1090.00	259.72	259.72	2.54	-1.10					76.27
1100.00	261.74	261.74	2.59	-0.94	4.09	0.85			81.10
1110.00	263.76	263.76	2.20	-1.14					95.57
1120.00	265.78	265.78	2.49	-1.04	4.13	0.54			122.04
1130.00	267.80	267.80	2.25	-1.58					124.42
1140.00	269.82	269.82	2.08	-1.02					106.15
1150.00	271.84	271.84	2.13	-0.75	3.85	0.02			115.92
1160.00	273.86	273.86	2.11	-0.63	3.75	1.14			117.93
1170.00	275.88	275.88	1.93	-0.62	3.40	0.80			104.87
1175.00	276.89	276.89			3.22	0.62			
1180.00	277.90	277.90			3.00	0.57			118.05
1185.00	278.91	278.91			3.32	0.50			
1190.00	279.92	279.92			3.41	1.06			71.04
1195.00	280.93	280.93			3.47	0.33			
1200.00	281.94	281.94			4.04	0.41			121.82
1205.00	282.95	282.95			3.97	0.63			
1210.00	283.96	283.96	1.87	-0.57	3.69	1.01			119.09
1215.00	284.97	284.97			3.34	0.59			
1220.00	285.98	285.98							116.57
1225.00	286.99	286.99			3.54	0.86			
1230.00	288.00	288.00	1.47	-0.43					107.89
1235.00					3.37	0.77			
1240.00			2.13	-0.30	3.40	0.59			97.95
1245.00					3.31	0.85			
1250.00			2.18	-0.45	3.62	1.10			102.35
1255.00					3.21	0.62			
1260.00			1.73	-0.49	2.40	0.19			118.22
1265.00					2.91	0.62			
1270.00			1.67	-0.46	2.63	0.67			119.29
1280.00			1.52	-0.46	2.77	0.47			134.29
1290.00			1.46	-0.51					162.45
1295.00					2.64	0.36			
1300.00			1.47	-0.73	2.88	0.53			111.27
1305.00					2.65	0.33			
1310.00			1.18	-1.03					158.47
1320.00			1.24	-0.84					258.89
1325.00					2.70	0.55			
1330.00									155.13
1340.00			2.91	-1.06					112.50
1345.00					3.47	0.75			
1350.00			1.69	-0.49					103.71
1354.00					2.73	0.33			

Tab. A

Core 17050										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 μm (w-%)
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
5.	0.18	0.17							195.72	1.89
10.	0.36	0.34	1.48	-0.25					209.87	2.62
15.	0.54	0.51							205.6	3.13
20.	0.73	0.67	1.46	-0.3					209.15	2.59
25.	0.91	0.84							193.22	4.14
30.	1.09	1.01	1.57	-0.3					185.91	2.84
35.	1.27	1.18							196.77	2.86
40.	1.45	1.35	1.55	-0.2					189.69	2.74
45.	1.63	1.52							178.47	2.63
50.	1.81	1.69	1.36	-0.29					178.94	3.35
55.	2.	1.85	1.45	-0.09					196.91	2.7
60.	2.18	2.02							176.92	2.57
65.	2.36	2.19							190.08	2.65
70.	2.54	2.36							177.1	4.12
75.	2.72	2.53	1.52	-0.16						
80.	2.9	2.7	1.42	0.02					166.8	4.28
84.	3.05	2.83							160.23	4.13
90.	3.27	3.03	1.42	-0.03					184.84	4.43
95.	3.45	3.2							148.92	6.77
100.	3.63	3.37	1.11	-0.32	2.62	0.51			172.68	4.64
105.	3.81	3.54	1.29	-0.03					149.98	4.36
110.	3.99	3.71	1.28	-0.2					152.97	3.17
115.	4.17	3.88	1.36	-0.12					148.9	4.11
120.	4.36	4.04							153.81	3.41
125.	4.54	4.21	1.57	-0.11					153.02	4.53
130.	4.72	4.38	1.25	-0.08					151.57	4.23
135.	4.9	4.55							154.13	4.71
140.	5.08	4.72							154.97	3.5
145.	5.26	4.89							151.13	5.38
150.	5.44	5.06	0.92	-0.49					146.28	5.34
155.	5.63	5.22	1.37	-0.23					148.79	5.99
160.	5.81	5.39							150.85	3.97
165.	5.99	5.56							155.27	2.91
170.	6.17	5.73	1.19	-0.47					149.15	3.58
175.	6.35	5.9							149.69	4.26
180.	6.53	6.07	1.15	-0.51					183.57	4.6
184.	6.68	6.2	1.18	-0.52					154.34	5.75
186.	6.75	6.27	1.4	-0.47						
190.	6.9	6.4	1.32	-0.61					160.39	4.23
195.	7.08	6.57	1.36	-0.53					149.53	3.64
200.	7.26	6.74	1.26	-0.6					172.06	2.97
205.	7.44	6.91							177.43	1.96
210.	7.62	7.08							189.25	1.72
215.	7.8	7.25	1.37	-0.63					167.73	1.98
220.	7.99	7.41	0.71	-1.06					169.89	2.3
225.	8.17	7.58	1.53	-0.53					169.07	1.83
230.	8.35	7.75							167.86	2.29
235.	8.53	7.92							154.1	3.3
240.	8.71	8.09	1.18	-0.91					155.29	2.97
245.	8.89	8.26	1.37	-0.71					161.7	2.3
250.	9.07	8.43							182.11	
255.	9.26	8.59							151.58	3.57
260.	9.44	8.76							172.2	3.39
265.	9.62	8.93							156.89	4.34
270.	9.8	9.1	0.99	-1.01	2.28	0.28			163.36	2.94
275.	10.23	9.31							147.95	3.51
280.	10.66	9.53							158.17	
284.	11.	9.7							156.67	3.09
286.	11.17	9.79	1.23	-0.94						
290.	11.52	9.96	1.29	-0.75					153.98	3.77
295.	11.95	10.17	1.38	-0.79					161.94	3.85
300.	12.38	10.39	1.51	-0.89					157.22	4.02
305.	12.81	10.81	1.45	-0.91	2.68	0.73			147.76	3.59
310.	13.24	11.24	1.14	-0.98					138.06	5.03
315.	13.66	11.66	1.41	-0.98	2.65	0.72			155.16	5.31
320.	14.09	12.09	1.62	-1.18	2.85	0.59			138.01	8.48
325.	14.52	12.52	1.83	-1.09					141.7	5.78
330.	14.95	12.95	1.65	-1.35					147.29	10.07
335.	15.38	13.12	1.96	-1.07	2.96	0.7			129.24	21.67
340.	15.81	13.14	2.05	-0.86	3.16	0.78			135.74	18.11
345.	16.24	13.17	2.08	-0.81	2.86	0.32			141.28	16.22
350.	16.67	13.2	2.2	-0.78	3.	0.58			126.44	20.73
355.	17.1	13.6	2.33	-0.65	3.16	0.67			118.24	25.64
360.	17.5	14.	2.15	-0.96	4.02	0.24			132.1	12.72
365.	17.9	14.4	2.38	-0.97					110.42	24.05
370.	18.3	14.8	2.16	-0.86	4.4	0.62			114.1	27.44
375.	18.89	15.39	2.4	-0.54	4.13	0.34			113.18	36.45
380.	19.48	15.98	2.77	-0.28	4.35	0.54			118.08	28.71
384.	19.95	16.45	3.03	-0.76					128.56	21.82

Tab. A

Core 17050										
Depth [cm]	Age	Age	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
	Cal. ka	C14-ka	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	content [w-%]	>63 μm (w-%)
390.	20.66	17.16	2.72	-0.62					120.78	22.76
395.	21.25	17.75	3.02	-0.35					132.64	12.77
400.	21.84	18.34	2.95	-0.49	4.11	-0.15			134.82	10.94
405.	22.43	18.93	2.88	-0.36					118.28	14.76
410.	23.02	19.52	2.86	-0.53	4.02	0.59			142.42	11.47
415.	23.61	20.11							146.38	11.5
420.	24.19	20.69	2.88	-0.38	4.12	0.83			141.78	11.06
425.	24.78	21.28	2.89	-0.3	3.88	0.55			120.84	13.01
430.	25.37	21.87	2.79	-0.1	3.77	0.52			121.26	12.21
435.	25.96	22.46	2.88	-0.03	3.87	0.49			105.85	13.4
440.	26.55	23.05	2.88	-0.16	3.94	0.3			140.49	8.62
445.	27.14	23.64	2.66	-0.15					153.87	2.69
450.	27.73	24.23	2.86	0.04	3.99	0.53			173.67	4.06
455.	28.32	24.82	2.81	-0.14					197.25	2.42
460.	28.91	25.41	2.89	-0.25					210.46	1.81
465.	29.5	26.	2.6	-0.32	3.14	-0.63			188.9	3.19
470.	29.78	26.28	2.61	-0.23	3.48	0.31			169.15	2.81
475.	30.06	26.56	2.58	-0.14					176.35	3.34
480.	30.34	26.84	2.6	-0.45					179.08	2.97
484.	30.56	27.06	2.65	-0.7	3.94	1.01			158.74	6.28
490.	30.9	27.4	2.93	-1.06	3.83	0.31			140.99	12.92
495.	31.17	27.67	2.57	-0.76	3.21	0.34			116.16	15.12
500.	31.45	27.95	2.44	-0.9	3.96	0.88			119.17	13.39
505.	31.73	28.23	2.52	-0.97	3.7	1.01			127.93	8.47
510.	32.01	28.51	2.54	-0.85	3.96	0.74			140.25	9.1
515.	32.29	28.79	2.59	-0.79	3.91	0.98			144.8	7.58
520.	32.57	29.07	2.18	-0.77	3.9	0.51			140.94	8.18
525.	32.85	29.35	2.68	-0.62	3.7	0.55			145.33	7.17
530.	33.13	29.63	2.56	-0.38					161.72	4.79
535.	33.41	29.91	2.55	-0.57					169.82	2.35
540.	33.69	30.19	2.3	-0.71					168.74	2.4
545.	33.96	30.46	2.41	-0.61					125.93	1.92
550.	34.24	30.74	2.26	-1.05					177.94	1.79
555.	34.52	31.02	2.29	-0.98					179.61	2.32
560.	34.8	31.3	2.32	-1.22					173.42	2.2
565.	35.08	31.58	2.6	-1.07					170.57	2.85
570.	35.36	31.86	2.24	-1.16					165.48	1.91
575.	35.64	32.14	2.54	-0.82	3.66	0.28			169.53	2.34
580.	35.92	32.42	2.45	-0.78	3.85	1.26			93.7	16.39
584.	36.14	32.64	2.65	-0.83	3.96	0.87			119.56	9.92
590.	36.48	32.98	2.64	-0.81					105.42	9.23
595.	36.75	33.25	2.53	-0.75	4.03	1.04			103.22	10.54
600.	37.03	33.53	2.49	-0.93					112.67	7.65
605.	37.31	33.81							122.41	3.84
610.	37.59	34.09	2.61	-0.45					126.14	6.2
615.	37.87	34.37							140.14	4.72
620.	38.15	34.65	2.35	-0.6					136.88	4.96
625.	38.43	34.93	2.56	-0.53	3.75	1.			127.37	6.63
630.	38.71	35.21	2.59	-0.58					121.83	3.95
635.	38.99	35.49							120.57	8.2
640.	39.27	35.77	2.41	-1.	3.55	0.83			110.58	6.71
641.65	39.36	35.86							139.46	5.59
643.3	39.45	35.95							121.73	11.17
645.	39.55	36.05							106.09	14.01
646.65	39.64	36.14	2.51	-0.85	3.76	0.42			125.58	5.94
648.3	39.73	36.23	2.62	-0.86	3.67	0.49			114.57	8.12
650.	39.82	36.32							113.71	8.92
651.65	39.92	36.42							106.52	15.91
653.3	40.01	36.51	2.45	-0.91	3.95	0.81				
655.	40.1	36.6	2.77	-0.86	3.93	0.78			115.19	9.12
660.	40.38	36.88							114.82	5.82
665.	40.66	37.16	2.62	-1.23	3.83	0.94			119.15	3.86
670.	40.94	37.44							127.18	4.37
675.	41.22	37.72	2.58	-1.06	3.63	0.48			122.4	6.62
680.	41.5	38.							132.95	4.71
684.	41.72	38.22							121.15	8.87
690.	42.06	38.56	2.68	-1.22	4.03	0.09			132.99	15.65
695.	42.34	38.84							130.61	
700.	42.61	39.11							101.79	17.14
705.	42.89	39.39	2.66	-0.5	3.85	0.32			85.92	17.22
710.	43.17	39.67							99.5	9.85
715.	43.45	39.95	2.44	-0.57					114.82	5.54
720.	43.73	40.3							120.82	4.5
725.	44.01	40.66	2.24	-0.39	3.88	0.5			136.55	2.58
730.	44.29	41.02	2.13	-0.13					158.22	4.17
735.	44.57	41.38	2.42	-0.23					159.53	4.13
740.	44.85	41.74	2.05	-0.36					160.91	5.41
745.	45.13	42.1	2.21	-0.64	3.73	0.54			124.94	6.26
750.	45.4	42.46	2.22	-0.6	3.95	0.89			134.78	3.12

Tab. A

Core 17050										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 μm (w-%)
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
755.	45.68	42.82							99.81	2.43
760.	45.96	43.18	1.98	-0.28					142.08	3.24
765.	46.24	43.54	2.05	-0.23	3.73	0.47			137.16	2.7
770.	46.52	43.9	1.73	-0.57					137.69	2.42
775.	46.8	44.26	2.16	-0.63					139.55	2.94
780.	47.08	44.62							127.9	3.87
784.	47.3	44.91							124.39	4.98
790.	47.64	45.34	1.85	-0.57					123.39	4.39
795.	47.92	45.7							118.92	10.31
800.	48.2	46.06							114.53	4.63
805.	48.47	46.43	2.45	-0.57	3.64	1.01			112.63	6.24
810.	48.75	46.79							70.87	6.48
815.	49.03	47.15	2.53	-0.4					115.28	7.42
820.	49.31	47.51							117.75	2.59
825.	49.59	47.87	2.68	-0.45	3.35	0.78			119.46	2.31
830.	49.87	48.23							123.84	3.15
835.	50.15	48.59							130.01	3.22
840.	50.43	48.95							117.58	2.3
845.	50.71	49.31	2.4	-0.33					121.68	2.6
850.	50.99	49.67							129.9	2.74
855.	51.26	50.03	2.37	-0.27	3.43	0.77			120.26	3.38
860.	51.54	50.39							119.17	2.07
865.	51.82	50.75	2.3	-0.63	3.28	0.41			126.56	1.77
870.	52.1	51.11							123.61	1.72
875.	52.38	51.47	2.13	-0.51	3.22	1.04			133.35	3.83
880.	52.66	51.83	2.58	-0.55					133.29	1.96
884.	52.88	52.12	2.17	-0.63	3.17	1.			135.62	3.85
890.	53.22	52.55							128.82	4.
895.	53.5	52.91	2.29	-0.72	2.93	0.69			120.57	11.71
900.	53.78	53.27	2.06	-0.73	3.73	0.89			112.85	13.08
905.	54.05	53.63	2.07	-0.35	3.46	1.03			119.66	11.15
910.	54.33	53.99							106.65	7.29
915.	54.61	54.35							108.63	7.88
920.	54.89	54.71							102.27	7.56
925.	55.17	55.08	1.85	-1.38	3.31	0.56			115.51	4.29
930.	55.45	55.44	2.34	-1.31	3.17	0.94			130.62	2.74
935.	55.72	55.72	2.33	-1.08					126.8	1.46
940.00	55.99	55.99							119.91	1.59
945.00	56.26	56.26	1.80	-1.24					120.39	2.12
950.00	56.54	56.54							116.66	1.71
955.00	56.81	56.81	1.79	-1.29					118.60	1.61
960.00	57.08	57.08							114.84	1.12
965.00	57.35	57.35							126.67	1.18
970.00	57.62	57.62							119.50	1.24
975.00	57.89	57.89							128.50	1.17
980.00	58.17	58.17	2.46	-0.65					120.17	1.45
984.00	58.38	58.38	2.15	-0.90					114.13	1.28
990.00	58.71	58.71	2.24	-0.78					118.54	1.18
995.00	58.98	58.98	2.27	-1.10					122.06	1.79
1000.00	59.25	59.25	2.17	-0.96					120.99	2.36
1005.00	59.52	59.52	2.05	-1.00					123.56	2.43
1010.00	59.80	59.80	2.03	-1.10					129.45	2.74
1015.00	60.07	60.07	1.89	-1.00					124.70	1.77
1020.00	60.34	60.34	2.20	-1.07					121.58	2.10
1025.00	60.61	60.61	1.73	-1.02					120.91	3.39
1030.00	60.88	60.88							118.40	7.55
1035.00	61.15	61.15	2.05	-0.88	3.69	0.42			128.13	3.40
1040.00	61.42	61.42	1.74	-0.71					136.00	3.02
1045.00	61.70	61.70							133.58	2.25
1050.00	61.97	61.97	2.30	-1.03					118.55	2.84
1055.00	62.24	62.24							149.41	2.25
1060.00	62.51	62.51							156.88	2.26
1065.00	62.78	62.78							154.64	1.78
1069.00	63.00	63.00	2.35	-0.57					147.59	1.86

Tab. A

Core 17051										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 µm [w-%]
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
1.00	0.00	0.00	1.77	0.07			2.78	0.34	212.14	9.70
5.00	0.31	0.29	1.76	0.01					191.39	16.09
10.00	0.70	0.65	1.74	0.03			3.14	0.22	198.27	11.27
15.00	1.08	1.01	1.68	0.09					177.32	11.79
20.00	1.47	1.37	1.59	-0.03	2.56	1.04			183.54	14.69
25.00	1.86	1.73	1.61	-0.18					159.66	12.08
30.00	2.25	2.09	1.50	0.01	2.60	1.00	2.42	0.13	166.48	13.58
35.00	2.63	2.45	1.52	0.00			2.73	0.25	155.87	19.80
40.00	3.02	2.81	1.65	-0.05					156.66	11.70
45.00	3.41	3.17	1.76	-0.21			2.76	0.08	151.64	16.75
50.00	3.80	3.52	1.57	-0.22					149.94	14.01
55.00	4.18	3.88	1.62	-0.19			2.37	0.07	163.29	15.55
60.00	4.57	4.24	1.51	-0.32					158.51	7.39
65.00	4.96	4.60	1.68	-0.30			1.84	0.17	163.69	4.67
70.00	5.35	4.96	1.64	-0.50			2.15	0.09	167.32	3.92
72.50	5.54	5.14	1.59	-0.50	3.18	1.16			170.22	3.14
75.00	5.73	5.32	1.39	-0.54			1.96	0.06	173.99	3.45
77.50	5.93	5.50	1.63	-0.57	2.76	0.91			169.08	3.32
80.00	6.12	5.68	1.60	-0.60			2.00	0.11	166.77	6.42
82.50	6.31	5.86	1.49	-0.60			2.14	0.10	173.70	3.70
85.00	6.51	6.04	1.67	-0.56					184.43	3.46
87.50	6.70	6.22	1.63	-0.55	2.70	0.94	1.81	-0.02	165.69	3.74
90.00	6.89	6.40	1.72	-0.58			2.17	0.11	160.58	6.22
92.50	7.09	6.58	1.57	-0.56	2.74	0.70	2.03	0.11	153.44	5.73
95.00	7.28	6.76	1.52	-0.53			1.84	0.19	190.33	2.82
97.50	7.48	6.94	1.56	-0.45	2.64	0.64			176.34	4.04
99.00	7.59	7.05	1.70	-0.28						
102.50	7.86	7.30	1.43	-0.60					164.70	5.33
105.00	8.06	7.48	1.78	-0.78			2.33	0.04	168.62	6.01
107.50	8.25	7.66	1.62	-0.56	2.95	0.65	2.46	-0.04	163.31	5.96
112.50	8.64	8.02	1.70	-0.77	2.93	1.03			172.17	6.06
115.00	8.83	8.20	1.46	-0.74			3.26	0.06	130.62	7.34
117.50	9.03	8.38	1.79	-0.70	2.87	0.76	3.10	0.22	168.56	4.94
120.00	9.22	8.56	1.51	-0.81			3.24	0.23	167.65	5.18
122.50	9.41	8.74	1.75	-0.67			3.52	0.30	172.09	6.01
125.00	9.61	8.92	1.77	-0.61			3.30	0.06	189.31	4.96
127.50	9.80	9.10	1.60	-0.76	2.92	1.04	3.20	0.15	178.53	5.08
130.00	10.23	9.32	1.73	-0.73			3.43	0.00	175.68	4.59
132.50	10.67	9.53	1.74	-0.67					171.15	4.77
135.00	11.10	9.75	1.79	-0.67	3.20	1.11	3.59	0.26	169.72	7.05
137.50	11.53	9.97	1.94	-0.66			3.36	0.23		4.27
140.00	11.97	10.18	1.94	-0.76	2.75	0.74	3.40	0.22	176.17	3.39
142.50	12.40	10.40	2.07	-0.73	3.48	0.70			173.90	4.74
145.00	12.65	10.65	2.20	-0.70			3.33	0.20	169.64	6.81
147.50	12.89	10.89	2.18	-0.89	3.50	0.55	3.42	0.25	169.68	6.84
150.00	13.14	11.14			3.81	0.78			151.00	21.12
152.50	13.39	11.39	2.31	-0.85	3.44	0.61			153.29	14.21
155.00	13.64	11.64	2.39	-0.91	3.25	0.55			140.99	19.01
157.50	13.88	11.88	2.04	-0.83	3.61	0.64	3.61	0.32	162.72	6.56
160.00	14.13	12.13	2.00	-0.70	3.38	0.57	3.57	0.23	178.11	5.05
162.50	14.38	12.38	2.13	-0.82	3.15	0.72			171.48	6.69
165.00	14.63	12.63	2.73	-0.70	3.30	0.55			117.66	26.50
167.50	14.87	12.87	2.09	-0.97	3.38	0.85			118.55	17.19
170.00	15.12	13.10	2.63	-0.76	3.45	0.69	3.21	0.03	137.54	11.82
172.50	15.37	13.12	2.80	-0.63	3.46	0.53			119.85	21.92
175.00	15.62	13.13	2.89	-0.59	3.27	0.58	3.46	0.23	105.98	30.83
177.50	15.86	13.15	2.95	-0.56	3.66	0.90	3.60	0.28	116.40	15.99
180.00	16.11	13.16	2.93	-0.51	3.67	1.01	3.73	0.06	130.27	11.91
182.50	16.36	13.18	2.83	-0.69	3.69	1.01			125.05	11.83
185.00	16.61	13.19	2.89	-0.46	3.90	0.57			129.86	10.87
187.50	16.85	13.35	2.93	-0.66	3.68	0.58	4.82	0.17	119.09	12.16
190.00	17.10	13.60	2.81	-0.63	3.56	0.47	4.02	0.08	114.51	13.42
192.50	17.23	13.73	2.87	-0.58	3.94	0.71	4.34	0.10	113.10	14.88
195.00	17.37	13.87	2.81	-0.71	3.61	0.59			118.60	15.03
197.50	17.50	14.00	3.03	-0.74	3.98	0.66			115.94	14.18
199.00	17.58	14.08	2.74	-0.50						
199.50	17.61	14.11					4.47	0.06		
200.00	17.63	14.13	2.85	-0.43	4.43	0.82	4.43	-0.05	103.92	17.96
202.50	17.77	14.27			4.00	0.77	4.24	-0.03	105.99	15.31
205.00	17.90	14.40	2.79	-0.34	4.16	0.75	4.46	0.09	103.18	18.21
207.50	18.03	14.53			4.25	0.91			102.69	17.88
210.00	18.17	14.67	2.68	-0.57	4.40	0.70	4.25	-0.13	108.01	18.69
212.50	18.30	14.80			4.43	0.81	4.33	0.08	121.75	14.88
215.00	18.64	15.14	3.07	0.15	4.43	0.84	4.42	0.08	119.79	19.56
217.50	18.98	15.48			4.39	0.77			121.25	14.04
220.00	19.33	15.83	3.43	-0.46			4.26	0.06	119.91	17.12
222.50	19.67	16.17			4.21	0.66	4.23	0.16	118.01	15.97
225.00	20.01	16.51							130.62	15.03
227.50	20.35	16.85			4.24	1.18	4.12	0.08	130.03	11.11

Tab. A

Core 17051										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 µm [w-%]
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
230.00	20.70	17.20	3.32	-0.57			3.91	0.11	131.69	8.62
232.50	21.04	17.54			3.85	0.72	4.03	0.06	133.57	9.06
235.00	21.38	17.88	3.34	-0.80			4.04	0.11	153.94	11.56
237.50	21.72	18.22			3.92	0.87	3.91	0.02	144.83	11.69
240.00	22.07	18.57	3.46	-0.50	4.32	0.94	3.99	0.05	163.88	7.35
242.50	22.41	18.91			4.19	0.87	3.95	0.12	142.20	13.23
245.00	22.75	19.25	3.38	-0.21					159.25	11.70
247.50	23.09	19.59			4.07	0.64	3.98	0.12	117.52	11.24
250.00	23.44	19.94	3.44	-0.21	4.40	0.90	3.95	0.19	116.03	9.31
252.50	23.78	20.28			4.32	1.02	4.10	0.35	127.65	9.42
255.00	24.12	20.62	3.26	-0.35	4.24	1.36	3.99	0.21	121.08	15.02
257.50	24.46	20.96			4.20	1.20	3.64	0.23	147.86	9.57
260.00	24.81	21.31	3.41	-0.17	4.32	1.03	3.86	0.27	134.30	11.06
262.50	25.15	21.65			4.32	1.37	3.74	0.20	131.98	12.36
265.00	25.49	21.99							132.00	12.46
267.50	25.83	22.33			4.31	1.18			131.36	10.67
270.00	26.18	22.68	3.34	-0.39	4.37	1.14	3.36	-0.18	135.05	11.28
272.50	26.52	23.02			4.21	1.15	3.92	0.29	130.97	9.89
275.00	26.86	23.36	3.28	-0.12	4.23	1.32			141.12	10.14
277.50	27.20	23.70			4.35	1.22	3.61	0.29	137.72	7.69
280.00	27.55	24.05	3.16	-0.14	4.15	0.90	3.65	0.33	150.82	7.94
282.50	27.89	24.39			4.18	0.90			133.07	10.39
285.00	28.23	24.73	2.72	0.06			4.06	0.21	115.78	17.48
287.50	28.57	25.07			4.21	1.14	3.91	0.28	129.79	9.00
290.00	28.92	25.42	2.70	-0.46	4.42	1.20	3.99	0.25	131.77	13.86
292.50	29.26	25.76			4.32	1.13	3.78	0.34	136.01	8.73
295.00	29.60	26.10	3.34	-0.04	3.88	0.98			144.38	7.90
297.50	29.93	26.43			4.23	1.23	3.15	0.19	158.58	6.89
299.00	30.12	26.62	3.33	-0.27	4.17	0.95				
300.00	30.25	26.75	3.16	-0.26	3.91	0.58	3.97	0.40	168.48	10.39
302.50	30.58	27.08			3.91	0.61	3.57	0.24	145.31	7.07
305.00	30.91	27.41	3.33	-0.22	3.74	0.56	3.58	0.25	142.42	6.84
307.50	31.24	27.74			3.81	0.57	3.99	0.34	128.07	8.64
310.00	31.56	28.06	3.19	-0.28	3.83	0.56	3.68	0.14	111.28	12.34
312.50	31.89	28.39			4.10	0.70	3.59	0.24	102.28	14.32
315.00	32.22	28.72	3.23	-0.22	3.95	0.60	3.83	0.24	109.24	14.99
317.50	32.55	29.05			4.01	0.59	3.81	0.30	99.69	14.86
320.00	32.87	29.37	3.08	-0.81	4.23	1.14	3.89	0.32	109.27	13.03
322.50	33.20	29.70			4.22	1.23	3.84	0.21	115.23	10.13
325.00	33.53	30.03	3.10	-0.85					120.48	11.91
327.50	33.86	30.36			4.17	0.87	3.78	0.35	118.57	10.02
330.00	34.18	30.68	3.03	-0.65	4.29	1.08	4.00	0.39	128.61	7.37
332.50	34.51	31.01			4.30	0.94			129.59	7.08
335.00	34.84	31.34	3.05	-0.70	4.32	1.16	3.99	0.33	154.26	7.85
337.50	35.17	31.67			4.30	1.01			135.38	7.84
340.00	35.49	31.99	3.09	-0.72	4.28	1.21	3.70	0.26	142.08	8.03
342.50	35.82	32.32					3.36	0.31	133.19	9.89
345.00	36.15	32.65	3.01	-0.71	4.04	0.88	3.78	0.43	142.79	9.49
347.50	36.47	32.97			4.14	0.94	3.82	0.27	131.85	10.97
350.00	36.80	33.30	3.08	-0.59	4.20	1.21	3.89	0.27	131.54	11.14
352.50	37.13	33.63			4.10	0.79	3.93	0.42	124.57	8.99
353.00	37.19	33.69	3.20	-0.77						
353.50	37.26	33.76					3.92	0.27		
355.00	37.46	33.96	2.93	-0.60	4.29	1.32	4.01	0.30	145.17	8.47
357.50	37.78	34.28					3.74	0.57	149.53	4.14
360.00	38.11	34.61	2.75	-0.49	4.33	0.88	3.83	0.39	137.66	8.05
362.50	38.44	34.94			3.98	0.83	3.80	0.23	116.80	11.46
365.00	38.77	35.27	2.82	-0.58	4.01	0.87	3.70	0.22	153.23	6.11
367.50	39.09	35.59			4.12	1.01			136.11	7.85
370.00	39.42	35.92	2.67	-0.83	4.02	1.16	3.52	0.38	142.18	8.72
372.50	39.75	36.25							131.86	7.62
375.00	40.08	36.58	2.75	-0.75	4.03	1.23	3.58	0.39	129.47	10.91
377.50	40.40	36.90							129.33	7.85
380.00	40.73	37.23	2.66	-0.83	3.76	0.75	3.75	0.24	128.67	8.81
382.50	41.06	37.56			4.02	0.87	3.65	0.26	117.88	10.67
385.00	41.38	37.88	2.81	-0.68	3.86	1.04	3.80	0.17	101.74	15.63
387.50	41.71	38.21			3.99	1.10	3.96	0.41	106.79	11.44
390.00	42.04	38.54	3.33	-0.93	4.12	1.25	4.15	0.40	126.81	6.83
392.50	42.37	38.87			4.01	0.76	3.99	0.34	125.94	8.13
395.00	42.69	39.19			4.14	1.32	3.90	0.26	114.97	8.70
397.50	43.02	39.52					3.91	0.39	120.37	9.30
400.00	43.35	39.85					4.07	0.36	119.23	5.48
402.50	43.68	40.23					3.71	0.24	111.97	4.73
405.00	44.00	40.65			4.26	0.76			113.97	4.73
407.50	44.33	41.07							114.57	3.91
410.00	44.66	41.50					4.04	0.32	135.62	4.40
412.50	44.99	41.92							113.95	4.28
415.00	45.31	42.34	2.97	-0.76			3.95	0.29	124.11	14.26
420.00	45.97	43.19	3.05	-0.43	4.12	1.01	3.90	0.33	122.46	9.07



Tab. A

Core 17051										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 µm [w-%]
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
422.50	46.30	43.61					3.81	0.16	113.59	5.49
425.00	46.62	44.03	2.92	-0.42	4.07	1.24	3.72	0.22	113.20	5.15
427.50	46.95	44.46					3.69	0.25	108.29	5.49
430.00	47.28	44.88	2.89	-0.54			3.82	0.24	107.27	6.76
432.50	47.60	45.30					3.43	-0.06	106.49	6.71
435.00	47.93	45.72	2.87	-0.64	3.90	1.39			109.20	7.11
437.50	48.26	46.15			4.02	1.32	3.51	0.14	110.06	7.04
440.00	48.59	46.57	2.85	-0.60			3.05	-0.01	117.48	8.48
442.50	48.91	46.99			3.93	1.10			113.84	8.03
445.00	49.24	47.42	2.96	-0.49			3.05	0.07	117.47	9.41
447.50	49.57	47.84			3.93	1.31	3.59	0.11	112.54	6.79
450.00	49.90	48.26	2.85	-0.62			3.26	-0.01	114.04	6.23
455.00	50.55	49.11	2.81	-0.56			3.54	-0.07	113.39	4.11
457.50	50.88	49.53					3.44	-0.02	108.93	4.23
460.00	51.21	49.95	2.93	-0.61	3.76	1.09	3.84	0.02	114.31	5.20
462.50	51.53	50.38			4.01	1.17	3.77	0.02	108.86	9.29
465.00	51.86	50.80	2.83	-0.73	3.87	1.03	3.53	-0.01	126.71	8.29
467.50	52.19	51.22			3.70	0.98	3.52	-0.10	118.97	7.06
470.00	52.52	51.64	2.94	-0.70					116.34	11.48
472.50	52.84	52.07			4.09	1.06	3.67	-0.03	108.70	11.32
475.00	53.17	52.49	2.97	-0.85	4.00	0.89			106.33	11.95
477.50	53.50	52.91			4.10	0.91	3.82	0.01	105.17	10.47
480.00	53.82	53.34	2.70	-0.81	3.73	1.14	3.81	-0.10	101.36	6.70
482.50	54.15	53.76			3.95	0.94	3.81	-0.14	101.69	5.89
485.00	54.48	54.18	2.67	-1.22					104.74	6.74
487.50	54.81	54.60			3.80	0.88	3.73	-0.12	103.93	5.81
490.00	55.13	55.03	2.84	-1.20	4.03	0.95	3.82	-0.03	110.21	8.57
492.50	55.46	55.45			3.09	0.28	3.49	-0.12	114.34	2.11
495.00	55.91	55.91	2.75	-1.32			3.48	-0.07	117.95	3.75
497.50	56.36	56.36			3.74	0.80	3.64	-0.12	116.58	5.23
500.00	56.81	56.81	2.90	-1.09	3.82	0.73			116.08	5.98
502.50	57.26	57.26			3.68	0.85	3.61	-0.17	113.34	8.20
505.00	57.71	57.71	2.67	-1.13	3.71	0.97	3.67	-0.23	119.75	7.96
507.50	58.16	58.16			3.79	0.66	3.53	-0.11	120.25	9.10
510.00	58.60	58.60	2.92	-0.85	3.82	0.89			127.51	9.55
512.50	59.05	59.05			3.43	0.63	3.40	-0.17	118.23	13.18
515.00	59.50	59.50	2.86	-0.95	3.95	0.73	3.42	-0.19	114.86	16.50
517.50	59.95	59.95			3.84	0.69	3.09	-0.36	114.39	13.05
520.00	60.40	60.40	3.22	-0.83	4.22	0.84	3.77	-0.14	124.82	
522.50	60.95	60.95			4.22	0.61	3.90	-0.13	128.51	10.95
527.50	62.06	62.06			4.20	0.70	3.80	-0.18	101.57	14.73
530.00	62.62	62.62	3.45	-0.79			4.02	-0.03	92.94	14.93
532.50	63.17	63.17			3.95	0.54	4.10	0.13	87.52	14.69
535.00	63.73	63.73	2.98	-0.58	4.17	1.11	3.93	0.01	86.13	16.10
537.50	64.28	64.28			3.92	0.72	4.00	0.32	99.87	11.98
540.00	64.84	64.84	2.48	-0.43	3.89	0.93	4.01	0.14	109.51	8.18
542.50	65.39	65.39			4.01	1.16	3.82	0.14	115.86	4.81
545.00	65.94	65.94	2.50	-0.23					111.95	3.20
547.50	66.50	66.50			3.68	1.12	3.84	0.03	113.64	3.34
550.00	67.05	67.05	2.65	-0.03	3.74	1.02			123.38	3.45
552.50	67.61	67.61			3.71	0.93	3.40	0.20	117.21	3.20
555.00	68.16	68.16	2.45	-0.24			3.43	0.25	118.44	3.96
565.00	70.38	70.38	2.55	-0.49	3.75	0.95			118.43	7.65
575.00	72.60	72.60	2.66	-0.42					122.62	2.03
585.00	74.81	74.81	2.45	-0.12					129.30	5.29
595.00	77.03	77.03	2.30	-0.43	3.75	1.06			123.09	8.05
605.00	79.25	79.25	2.40	-0.60	3.54	0.92			120.78	8.30
610.00	80.37	80.37			3.80	0.92				
615.00	81.48	81.48	2.68	-0.44	3.66	1.17			110.59	6.40
620.00	82.60	82.60			3.55	0.65				
625.00	83.71	83.71	2.87	-0.24	3.62	1.27			119.17	7.41
635.00	85.95	85.95	2.78	-0.29	3.44	1.41			118.63	8.50
645.00	88.18	88.18	2.73	-0.49	3.37	1.43			113.31	11.34
653.50	90.07	90.07					2.77	0.25		
665.00	92.64	92.64	2.65	-0.60			3.16	0.38	113.00	15.86
695.00	99.34	99.34	2.40	-0.50	3.69	1.07			138.98	3.29
700.00	100.45	100.45	2.86	-0.81						
705.00	101.57	101.57			3.60	1.08			116.28	6.93
715.00	103.80	103.80			3.53	1.17			112.47	5.98
755.00	112.73	112.73	2.12	-0.87					112.19	6.16
760.00	113.84	113.84							118.17	6.15
770.00	116.07	116.07	2.53	-0.73	3.38	0.68			130.68	6.19
780.00	118.31	118.31	2.40	-0.89	3.46	1.07			132.95	8.57
790.00	120.54	120.54	2.38	-0.92	3.89	0.96			120.57	4.25
800.00	122.77	122.77	1.70	-0.28					116.94	10.31
810.00	125.00	125.00	1.66	-0.81	2.62	0.90			112.74	25.88
820.00	130.17	130.17	1.64	-1.15	4.22	1.12			132.46	13.36
825.00	132.76	132.76					3.62	-0.19		
830.00	135.34	135.34	2.86	-0.99	4.37	0.76			113.49	15.35

Tab. A

Core 17051										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
			$\delta 18 \text{ O } [‰]$	$\delta 13 \text{ C } [‰]$	$\delta 18 \text{ O } [‰]$	$\delta 13 \text{ C } [‰]$	$\delta 18 \text{ O } [‰]$	$\delta 13 \text{ C } [‰]$	content [w-%]	>63 $\mu\text{m}$ [w-%]
835.00			2.85	-0.99	3.86	0.89			132.48	7.30

Tab. A

Core 23414										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 µm (w-%)
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
12.5	3.27	3.03	1.05	-0.25	2.98	1.13	3.2	0.4	98.13	34.54
15.	3.92	3.64	1.09	-0.35			3.17	0.25	102.3	36.22
17.5	4.57	4.25	1.14	-0.4	2.57	1.21	3.24	0.39	94.04	30.82
20.	5.23	4.85	1.05	-0.41	2.67	1.19			92.78	31.9
22.5	5.88	5.46	1.41	-0.37	2.96	1.07	2.95	0.2	91.83	26.51
25.	6.53	6.07	1.27	-0.43	2.86	1.2	3.03	0.22	93.6	30.41
27.5	7.19	6.67	1.29	-0.35	2.59	1.14	3.02	0.43	91.18	27.27
30.	7.84	7.28	1.29	-0.42	2.97	0.9	2.99	0.32	92.81	25.88
32.5	8.49	7.89			2.98	0.84	3.1	0.18	93.83	23.83
35.	9.15	8.49	1.5	-0.55	2.78	1.29	3.01	0.34	96.39	24.4
35.5	9.28	8.61			2.71	1.17				
36.5	9.54	8.86			2.89	1.18				
37.5	9.8	9.1			2.58	1.15				
38.5	10.45	9.43			2.91	1.02				
39.5	11.1	9.75			2.76	1.13				
40.	11.43	9.91	1.69	-0.32	3.46	0.87			89.26	26.16
40.5	11.75	10.08			3.32	0.9				
41.5	12.4	10.4			3.65	0.79				
42.5	12.83	10.83			3.45	0.82				
45.	13.9	11.9	2.06	-0.6	3.68	0.84	2.98	0.01	61.71	29.05
47.5	14.96	12.96	2.14	-0.57	3.45	0.96	3.22	-0.02	74.29	27.47
50.	16.03	13.16	2.04	-0.48	3.34	0.85	3.39	-0.13	75.69	21.38
52.5	17.1	13.6	2.42	-0.26	3.25	0.65	3.58	0.01	71.64	34.03
55.	17.11	13.61	2.04	-0.69	4.24	0.73	3.72	-0.07	93.39	22.34
57.5	17.71	14.21	2.35	-0.7			4.03	-0.08	80.23	28.61
60.	18.3	14.8			4.69	0.98			99.17	28.09
62.5	18.98	15.48	3.02	-0.11	4.57	0.88	4.05	-0.23	92.58	24.36
65.	19.65	16.15	3.1	-0.38	4.47	0.91	3.98	-0.24	93.89	22.24
67.5	20.33	16.83	3.08	-0.14	4.41	0.86	3.91	-0.17	90.94	22.05
70.	21.01	17.51	2.97	-0.34	4.37	0.9	3.98	-0.19	93.74	23.53
72.5	21.68	18.18	3.04	-0.15	3.63	1.03	3.75	-0.24	89.18	20.14
75.	22.36	18.86	3.22	-0.36	4.51	0.89	3.81	-0.36	93.16	10.04
77.5	23.03	19.53							84.5	14.03
80.	23.71	20.21	3.09	-0.4	4.57	0.75	3.53	-0.36	86.67	7.67
82.5	24.5	21.	2.55	-0.14			3.81	-0.06	43.5	24.72
85.	24.8	21.3	2.95	-0.13	4.42	0.7	3.65	-0.39	73.92	23.81
87.5	25.1	21.6	3.04	-0.26	4.34	0.72	3.7	-0.39	87.9	22.45
90.	25.4	21.9	2.89	-0.04	4.54	0.92	3.95	-0.25	93.43	23.57
92.5	25.7	22.2	2.79	-0.24	4.13	1.04	3.88	0.	95.83	21.88
95.	27.6	24.1	3.13	-0.21	4.43	0.9	3.7	-0.33	88.78	22.42
97.5	29.5	26.	2.88	-0.23	4.13	1.1	3.68	-0.13	96.19	8.91
100.	29.8	26.3	2.91	-0.16			3.39	-0.29	101.6	9.13
102.5	30.	26.5	2.81	-0.12			3.68	-0.04	98.45	7.62
105.	30.2	26.7	2.54	-0.44	4.11	0.63	3.66	0.01	90.89	12.29
107.5	30.4	26.9	2.96	-0.15	4.19	1.07	3.56	-0.16	90.21	6.68
110.	30.6	27.1	2.86	-0.08	4.09	0.62	3.16	-0.19	83.35	16.31
112.5	30.8	27.3	2.37	-0.38			3.29	-0.04	87.47	18.67
115.	31.33	27.83	2.85	0.01	4.23	1.01	3.73	-0.13	93.04	18.01
117.5	31.74	28.24	2.92	0.16	4.22	1.01	3.91	-0.21	90.22	15.32
120.	32.15	28.65	2.77	0.34	3.98	0.87	3.72	-0.07	89.38	13.69
122.5	32.56	29.06	2.83	0.06	4.07	1.13	3.66	-0.23	75.81	15.38
125.	32.79	29.29	2.81	0.21	4.25	1.17	3.65	-0.05	79.28	14.28
127.5	33.02	29.52	2.8	0.18	3.95	0.97	3.57	-0.03	89.93	13.57
130.	33.24	29.74	2.8	-0.13	4.23	1.03	3.57	0.05	77.96	20.36
132.5	33.47	29.97	3.8	0.31	4.08	0.99	3.57	0.14	78.42	11.67
135.	33.69	30.19	2.85	0.14	4.25	1.14	3.67	0.08	79.51	15.32
137.5	33.92	30.42	2.82	0.14	4.06	1.1	3.44	-0.11	76.93	12.32
140.	34.15	30.65	2.82	-0.12	4.18	1.14	3.6	-0.09	78.74	14.62
142.5	34.37	30.87	2.94	0.1	3.98	1.03	3.41	-0.02	77.07	10.03
145.	34.6	31.1	2.22	-0.08	4.08	1.15	3.38	0.1	84.01	10.45
147.5	34.82	31.32	2.81	0.1	3.82	0.9	3.47	0.1	75.39	12.81
150.	35.05	31.55	2.66	0.07	4.21	1.03	3.44	0.06	80.	11.13
152.5	35.28	31.78	2.62	-0.06	4.02	1.01	3.38	-0.17	75.2	15.34
155.	35.99	32.49	2.73	0.02	4.16	0.88	3.39	-0.09	85.3	16.76
157.5	36.7	33.2	2.67	0.1	3.92	0.94	3.41	0.03	106.71	16.99
160.	37.41	33.91	2.7	0.04	3.94	0.97	3.49	0.08	83.71	14.8
162.5	37.74	34.24	2.57	0.	3.9	0.91	3.33	-0.01	78.57	17.33
165.	38.08	34.58	2.74	0.17	3.82	0.62	3.23	0.12	79.95	16.92
167.5	38.41	34.91	2.58	0.06	3.88	0.83	3.02	0.11	69.6	18.96
170.	38.93	35.43	2.53	-0.04	3.34	0.48	3.33	0.21	81.75	16.
172.5	39.45	35.95	2.63	-0.1	3.68	0.75	3.33	-0.09	69.38	17.45
175.	39.97	36.47	2.6	-0.3	4.16	1.19	3.66	0.01	84.22	14.97
177.5	40.33	36.83	2.69	-0.56	4.02	1.08	3.62	-0.06	80.86	18.98
180.	40.68	37.18	2.55	-0.4	4.05	1.11	3.57	0.08	82.91	14.43
182.5	41.03	37.53	2.57	-0.2	4.02	0.96	3.43	-0.05	78.74	12.73
185.	41.38	37.88	2.52	-0.47	4.12	1.19	3.49	0.09	78.3	14.12
187.5	41.73	38.23	2.44	-0.37	3.97	1.16	3.47	-0.04	76.87	17.7
190.	42.09	38.59	2.55	-0.18	4.14	1.05	3.67	-0.02	81.66	17.9
192.5	42.44	38.94	2.39	-0.17	3.84	1.19	3.35	-0.1	72.58	16.6

Tab. A

Core 23414										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
			$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	content [w-%]	>63 $\mu\text{m}$ (w-%)
195.	42.79	39.29	2.38	-0.19	3.84	1.11	3.5	-0.04	78.24	16.55
197.5	43.14	39.64	2.5	-0.19	3.87	0.97	3.32	-0.09	78.53	17.69
200.	43.5	40.	2.57	-0.27	3.95	0.95	3.19	0.1	83.31	15.97
202.5	43.85	40.45	2.45	-0.12	3.93	1.02	3.11	0.06	80.6	17.62
205.	44.2	40.9	2.35	-0.17	3.54	1.05	3.11	-0.1	78.37	17.99
207.5	44.55	41.36					3.42	-0.3	68.28	16.64
210.	44.9	41.81	2.57	-0.23	3.9	1.05	3.42	0.01	73.83	17.63
212.5	45.26	42.27	2.58	-0.21	3.96	1.23	3.3	-0.01	70.38	17.88
215.	45.61	42.72	2.61	-0.34	4.37	1.23	3.54	-0.05	74.32	21.83
217.5	45.96	43.18	2.86	-0.09	3.92	1.05	3.24	-0.35	74.63	18.99
220.	46.31	43.63	2.56	-0.42	4.05	1.19	3.1	-0.31	82.19	18.16
222.5	46.66	44.09	2.48	-0.46	4.04	1.31			81.11	17.68
225.	47.02	44.54	2.59	-0.18	3.99	0.97	3.32	0.08	81.77	16.53
227.5	47.37	45.	2.54	-0.05	3.84	1.15	3.14	-0.49	80.92	19.15
230.	47.72	45.45	2.53	-0.35	3.86	1.25	3.26	-0.57	80.65	14.63
232.5	48.07	45.91	2.48	-0.4	3.89	1.07	3.35	-0.29	79.12	14.69
235.	48.42	46.36	2.42	-0.7	3.95	1.01	3.54	0.16	78.51	13.61
237.5	48.78	46.82	2.58	-0.3	3.89	1.06	3.19	-0.75	78.17	17.01
240.	49.13	47.27	2.51	-0.41	3.93	1.05	3.03	-0.55	83.52	12.77
242.5	50.56	49.11	2.48	-0.37	3.8	0.99	2.94	-0.5		21.54
245.	52.33	51.4	2.39	-0.74	3.98	1.04	3.09	-0.69	86.19	10.77
247.5	53.37	52.75	2.41	-0.76	3.9	1.02			84.17	8.32
250.	54.42	54.1	2.52	-0.99	3.75	0.77	2.92	-0.38	81.88	10.76
252.5	55.46	55.45	2.36	-0.96	3.66	0.75	2.91	-0.44	80.08	11.49
255.	56.53	56.53	2.52	-1.	3.89	0.97	2.74	-0.46	69.94	14.29
257.5	58.16	58.16	2.52	-0.88			2.85	-0.44	50.13	20.32
260.	59.26	59.26	2.43	-1.05			2.9	-0.27	91.16	16.83
262.5	59.55	59.55	2.36	-1.06	3.84	1.1	3.16	-0.21	88.22	16.68
265.	59.83	59.83	2.51	-0.59	3.61	0.1	3.29	-0.27	105.55	25.51
267.5	60.12	60.12	2.63	-0.54	3.96	0.82	3.55	-0.29	88.37	17.17
270.	60.4	60.4	2.57	-0.79			3.85	-0.29	80.62	12.81
272.5	61.84	61.84	2.66	-0.42			3.81	-0.34	76.88	19.98
275.	63.29	63.29	2.36	-0.23	4.1	0.87	3.87	0.04	66.58	17.89
277.5	64.73	64.73	2.27	-0.11	4.03	1.2	3.8	-0.25	65.04	20.71
280.	66.17	66.17	2.21	-0.2	3.77	0.91	3.52	-0.1	62.18	24.44
282.5	67.62	67.62	2.3	0.11	3.82	1.05	3.44	-0.49	61.88	31.82
285.	69.06	69.06	2.47	-0.04	3.93	1.06	3.39	-0.08	72.71	24.62
287.5	70.51	70.51	2.11	-0.13	3.9	1.17	3.16	-0.2	72.45	26.54
290.	71.95	71.95	2.21	-0.09	3.6	1.15	3.1	0.02	75.37	19.99
292.5	73.39	73.39	2.11	-0.03	3.71	1.19	3.18	0.33	76.48	20.31
295.	74.84	74.84	2.25	-0.1	3.66	1.28	2.96	-0.46	79.5	21.48
297.5	76.28	76.28	2.04	-0.11	3.63	1.25	3.12	-0.24	76.53	20.67
300.	77.72	77.72	2.3	-0.21	3.56	1.24	3.13	-0.01	76.86	22.76
302.5	79.17	79.17	2.39	-0.14	3.67	1.34			73.36	19.44
305.	80.61	80.61	2.5	0.01	3.68	1.35	3.16	-0.35	81.02	20.06
307.5	82.06	82.06	2.36	-0.15	3.45	1.1	3.1	-0.49	5.25	11.47
310.	82.82	82.82	2.43	-0.22	3.26	1.37	2.85	-0.35	91.13	13.77
312.5	83.59	83.59	2.26	0.	3.35	1.26	3.17	-0.29	84.08	24.72
315.	84.36	84.36	2.17	0.06	3.46	1.3	3.13	-0.4	103.13	24.75
317.5	85.13	85.13	2.34	-0.07	2.87	1.09	3.35	-0.53	82.6	27.13
320.	85.9	85.9					3.35	-0.45		
322.5	86.67	86.67	2.18	-0.29	3.04	1.			82.51	25.11
325.	87.44	87.44	2.1	-0.2	3.42	1.11	3.57	-0.44	83.07	22.7
327.5	88.2	88.2	2.07	-0.34			3.46	-0.32	82.03	21.38
330.	88.97	88.97	1.95	-0.37	3.24	1.1			92.32	18.08
332.5	89.8	89.8	2.1	-0.19	3.37	1.16			76.08	34.98
335.	90.62	90.62	2.17	-0.38	3.48	1.03			82.78	31.84
337.5	91.44	91.44	2.09	-0.21	3.48	1.24			82.88	33.54
340.	92.27	92.27	1.89	-0.37	3.64	1.27			87.58	32.99
342.5	93.09	93.09	2.	-0.28	3.42	1.16			82.32	30.92
345.	93.91	93.91	1.93	-0.28	3.58	1.25			91.7	28.39
347.5	94.73	94.73	2.1	-0.28	3.41	1.29			86.88	16.51
350.	95.56	95.56	1.92	-0.59	3.44	1.19			90.09	21.11
352.5	96.38	96.38	2.14	-0.54	3.27	1.15			83.47	21.23
355.	97.86	97.86	2.	-0.35	3.48	1.04			87.6	26.17
357.5	99.35	99.35	1.47	-0.68	3.35	1.16			84.14	23.04
360.	100.83	100.83	2.03	-0.67	3.58	1.04			88.63	18.26
362.5	102.32	102.32	1.97	-0.52	3.51	1.05			81.17	19.89
365.	103.8	103.8	1.76	-0.76	3.3	1.09			85.88	19.34
367.5	105.03	105.03	1.84	-0.59	3.5	1.05			81.15	20.22
370.	106.25	106.25	1.79	-0.62	3.52	1.06			84.76	19.55
372.5	107.48	107.48	1.91	-0.62	3.35	0.95			83.5	21.27
375.	108.7	108.7	1.86	-0.55	3.59	1.02			85.05	22.78
377.5	109.93	109.93	1.96	-0.42	3.53	1.04			87.82	25.71
380.	111.16	111.16	1.74	-0.36	3.22	0.99			97.15	23.62
382.5	112.38	112.38	2.09	-0.4	3.49	1.05			96.81	24.18
385.	113.61	113.61	1.85	-0.26	3.38	1.15			103.03	22.64
387.5	114.83	114.83	2.03	-0.45	3.17	0.85			95.53	20.81
390.	116.06	116.06	1.7	-0.29	3.39	1.09			100.9	18.09

Tab. A

Core 23414										
Depth	Age	Age	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
[cm]	Cal. ka	C14-ka	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	content [w-%]	>63 μm (w-%)
392.5	117.29	117.29	1.26	-0.64	2.76	1.09			98.64	16.35
395.	118.51	118.51	1.24	-0.57	2.78	0.68			100.6	14.93
397.5	119.74	119.74	1.07	-0.62	2.73	0.96			93.28	16.2
400.	120.96	120.96	1.41	-0.52	2.72	1.13			93.83	17.74
402.5	122.19	122.19	1.03	-0.82	2.27	1.			89.23	20.26
405.	122.5	122.5	1.08	-0.63	2.59	1.14			92.29	20.95
407.5	122.81	122.81	1.02	-0.75	2.68	0.88			85.03	18.52
410.	123.13	123.13	1.69	-0.25	2.59	1.			89.43	19.86
412.5	123.44	123.44	0.93	-0.83	2.57	1.17			84.48	19.31
415.	123.75	123.75	0.9	-0.72	2.74	0.96			82.71	21.49
417.5	124.06	124.06	0.84	-0.66	2.82	0.92			78.33	23.12
420.	124.38	124.38	0.89	-0.85	2.72	0.91			83.68	21.44
422.5	124.69	124.69	0.93	-0.58	2.82	0.62			80.53	21.87
425.	125.	125.	0.97	-0.91	2.67	0.78			81.95	24.08
427.5	125.22	125.22	1.8	-0.78	3.04	0.25			80.46	21.03
430.	125.45	125.45	1.06	-0.98	3.22	0.39			76.75	21.96
432.5	125.67	125.67	2.55	-0.64	3.19	0.21			70.3	20.46
435.	125.89	125.89	2.35	-1.08	3.14	0.3			76.61	21.56
437.5	128.49	128.49	2.79	-0.75	3.45	0.44			57.71	17.53
440.	129.34	129.34	2.59	-1.07	3.2	0.2			59.36	19.29
442.5	130.18	130.18	2.87	-1.	4.12	0.72			75.57	13.87
445.	131.62	131.62	2.98	-0.84	3.76	0.51			75.77	13.88
447.5	133.05	133.05	3.04	-0.7	3.74	0.57			75.	19.09
450.	134.49	134.49	3.15	-0.64	4.56	0.43			79.16	12.56
452.5	134.7	134.7	3.03	-0.51	4.21	0.41			74.53	6.86
455.	134.92	134.92	3.1	-0.85	4.01	0.52			68.1	11.98
460.	135.34	135.34	3.04	-0.71	4.6	0.7			72.89	6.62
465.	138.06	138.06	3.05	-0.77	4.51	0.34			81.36	5.58
470.	138.36	138.36	2.88	-0.68	4.36	0.65			81.36	5.34
475.	138.66	138.66	3.09	-0.76	4.56	0.85			77.18	3.77
480.	138.95	138.95	3.15	-0.79	4.65	0.5			78.03	7.12
485.	139.25	139.25	3.06	-0.81	4.55	0.64			87.52	12.97
490.	139.55	139.55	2.99	-0.93	4.64	0.78			95.58	22.97
495.	139.84	139.84	3.18	-1.15	4.3	0.76			82.38	20.14
500.	140.14	140.14	2.98	-0.87	4.41	0.73			74.19	11.36
505.	140.44	140.44	2.98	-0.81	4.24	0.55			85.29	11.33
510.	140.74	140.74	3.06	-0.76	4.19	0.54			83.04	8.38
515.	141.03	141.03	2.78	-0.94	4.21	0.49			82.69	4.7
520.	141.33	141.33	3.05	-0.81	3.91	0.42			103.38	16.47
525.	144.08	144.08	2.78	-0.98	4.08	0.54			85.92	6.62
530.	146.83	146.83	2.91	-0.87	4.09	0.33			96.91	18.21
535.	149.59	149.59			4.22	0.21			82.95	18.97
540.	152.34	152.34	2.55	-0.71	4.43	0.46			95.06	20.43
545.	155.09	155.09	2.37	-0.76	4.2	0.49			75.11	15.06
550.	158.94	158.94	2.5	-0.74	4.39	0.72			80.78	12.83
555.	162.79	162.79	2.66	-0.78	4.	0.64			93.25	13.62
560.	164.83	164.83	2.55	-1.08	4.19	0.63			101.76	14.34
565.	166.86	166.86	2.8	-0.76	4.11	0.79			106.4	20.54
570.	168.9	168.9	2.62	-0.71	4.22	0.85			85.01	27.41
575.	170.94	170.94	2.58	-0.6	4.08	0.9			82.59	27.58
580.	172.97	172.97	2.29	-0.98	4.	0.83			78.48	15.48
585.	175.01	175.01	2.33	-0.8	4.	0.9			75.59	17.79
590.	177.05	177.05	2.51	-1.08	3.96	0.61			73.03	23.27
595.	179.08	179.08	2.5	-0.79	4.02	0.6			75.16	26.08
600.	181.12	181.12	2.44	-0.88	3.8	0.27			80.3	18.46
605.	183.15	183.15	2.4	-0.89	4.08	0.57			81.93	14.99
610.	185.19	185.19	2.48	-0.7	4.08	0.6			79.93	27.78
615.	186.33	186.33	2.2	-0.56	4.	0.73			75.06	28.75
620.	187.47	187.47	2.11	-0.52	3.56	0.94			75.34	27.64
625.	188.61	188.61	2.09	-0.44	3.64	1.07			72.29	20.01
630.	189.76	189.76	1.94	-0.34	3.4	0.88			84.46	20.67
635.	190.9	190.9	1.86	-0.41	3.33	1.12			86.52	32.13
640.	192.04	192.04	1.91	-0.24	3.29	1.13			84.86	18.36
645.	193.18	193.18	1.6	-0.55	2.98	1.06			84.29	17.4
650.	195.66	195.66	1.64	-0.45	3.03	1.12			85.65	16.65
655.	198.15	198.15	1.69	-0.84	3.14	1.16			80.37	21.63
660.	200.63	200.63	1.84	-0.87	3.13	1.11			90.34	12.62
665.	203.12	203.12	1.68	-0.96	3.14	0.9			95.97	13.79
670.	205.6	205.6	1.89	-0.74	3.05	1.02			97.24	15.23
675.	208.09	208.09	1.9	-0.51	2.96	0.93			95.61	15.95
680.	210.57	210.57	1.76	-0.8	3.16	0.93			90.26	19.16
685.	213.06	213.06	1.79	-0.71	3.08	0.88			85.21	20.59
690.	215.54	215.54	1.8	-0.87	3.16	1.01			82.84	20.5
695.	217.95	217.95	2.12	-0.95	3.2	0.73			82.41	16.38
700.	220.35	220.35	1.95	-0.85	3.11	0.6			80.55	16.75
705.	222.76	222.76	2.35	-0.89	3.2	0.39			78.5	17.29
710.	225.16	225.16	2.19	-0.83	4.24	0.79			79.73	27.73
715.	226.5	226.5	2.1	-0.74	3.91	0.92			81.36	16.8
720.	227.83	227.83	2.25	-0.65	3.71	0.84			78.58	22.18

Tab. A

Core 23414										
Depth	Age	Age	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
[cm]	Cal. ka	C14-ka	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	content [w-%]	>63 $\mu\text{m}$ (w-%)
725.	229.17	229.17	2.16	-0.62	3.69	0.88			79.62	15.87
730.	230.5	230.5	2.05	-0.48	3.31	0.97			86.72	17.01
735.	231.84	231.84	2.23	-0.49	3.48	0.78			87.68	18.71
740.	233.18	233.18	2.1	-0.57	3.14	1.09			89.52	16.88
745.	234.51	234.51	1.81	-0.62	2.94	0.97			88.96	16.06
750.	235.85	235.85	1.74	-0.64	2.8	0.93			87.98	16.13
755.	237.18	237.18	1.72	-0.56	2.9	0.92			88.72	14.75
760.	238.52	238.52	1.36	-0.52	2.86	0.95			83.5	20.15
765.	239.85	239.85	1.54	-0.91	2.89	0.74			75.87	18.22
770.	241.19	241.19	1.67	-0.98	2.61	0.7			75.01	17.8
775.	242.26	242.26			3.	0.31			76.21	12.2
780.	243.33	243.33	2.57	-0.93	3.56	0.77			73.13	13.91
785.	244.4	244.4			3.91	0.83			74.61	12.71
790.	245.46	245.46	1.51	-1.36	3.69	0.77			54.79	16.02
795.	246.53	246.53	2.46	-0.9	3.99	0.87			70.95	14.97
800.	247.6	247.6	2.64	-0.91	4.07	0.68			75.65	14.88
805.	249.41	249.41	2.84	-0.96	3.76	0.53			75.51	12.32
810.	251.22	251.22	1.98	-1.11					69.2	9.6
820.	254.83	254.83	2.77	-0.81	3.5	0.54			73.3	13.37
825.	256.64	256.64	1.45	-1.39					64.83	9.82
830.	258.44	258.44	2.76	-0.69					67.46	11.27
835.	260.25	260.25	2.29	-0.82					58.39	14.37
840.	262.06	262.06	2.39	-0.77					50.86	25.51
845.	263.87	263.87	2.36	-0.73					27.25	18.1
850.	265.67	265.67	2.19	-0.87					26.94	24.61
855.	267.48	267.48	2.32	-1.1	4.31	0.88			47.33	19.85
860.			2.66	-1.02	4.03	0.7			79.76	9.91
865.			2.57	-1.23	4.06	0.48			78.29	
870.			2.56	-1.11	4.07	0.54			92.94	10.16
875.			2.29	-1.12	3.97	0.62			101.56	13.12
880.					3.84	0.32			102.03	
885.			2.11	-1.3					107.67	
890.			2.2	-1.45	3.83	-0.04			104.68	17.99

Tab. A

Core 23415										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 µm (w-%)
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
2.	0.27	0.25	1.19	-0.15	2.7	1.15			108.23	33.9
2.5	0.34	0.31							105.04	27.8
5.	0.68	0.63			2.41	0.97			111.5	29.6
7.5	1.01	0.94							98.48	21.9
10.	1.35	1.26	1.03	-0.01	2.52	1.07			98.25	16.18
12.5	1.69	1.57			2.83	1.21			91.84	15.76
15.	2.03	1.88	1.14	-0.21	2.48	0.94			90.91	16.09
17.5	2.37	2.2			2.67	1.22			87.98	14.33
20.	2.7	2.51	1.03	-0.24	2.62	0.94			89.18	10.9
22.5	3.04	2.82							89.72	10.7
25.	3.38	3.14	1.18	-0.2	2.69	1.23			90.24	8.93
27.5	3.72	3.45			2.69	1.13			93.6	8.56
30.	4.06	3.77	1.18	-0.39	2.78	1.13			97.37	7.78
32.5	4.39	4.08							95.59	8.02
35.	4.73	4.39	1.24	-0.16	2.55	1.16			104.44	5.93
37.5	5.07	4.71			2.49	1.17			102.24	7.51
40.	5.41	5.02	1.27	-0.65	2.74	0.9			105.3	6.16
42.5	5.74	5.33			2.74	1.03			101.26	5.68
45.	6.08	5.65			2.75	1.05	3.06	-0.16	103.16	8.27
47.5	6.42	5.96			2.76	1.08			102.57	6.97
50.	6.76	6.28	1.13	-0.58	2.61	1.03			106.79	6.82
52.5	7.1	6.59			2.89	1.13			103.34	5.3
55.	7.43	6.9	1.52	-0.63	2.61	1.	2.36	0.39	105.92	6.04
57.5	7.77	7.22							103.79	5.81
60.	8.11	7.53	1.2	-0.82	2.72	0.91	3.06	0.44	105.94	6.15
62.5	8.45	7.84			2.8	0.91			100.98	5.01
65.	8.79	8.16	1.47	-0.72	2.74	0.93			103.69	5.14
67.5	9.12	8.47			2.86	0.89			102.71	4.51
70.	9.46	8.79	1.45	-0.83			2.82	0.32	94.94	4.55
72.5	9.8	9.1			2.82	0.94			105.64	4.4
75.	10.32	9.36			2.92	0.74	3.01	0.42	113.72	4.34
77.5	10.84	9.62			2.94	0.87			111.94	5.4
80.	11.36	9.88	1.93	-0.84	3.15	0.81	3.03	0.45	117.01	8.89
82.5	11.88	10.14			3.06	0.69			108.88	9.71
85.	12.4	10.4	2.48	-0.6	3.5	0.82	3.04	0.4	106.34	10.59
87.5	12.69	10.69			3.36	0.88			105.29	5.02
90.	12.99	10.99	2.35	-0.41	3.26	1.01			98.74	4.78
92.5	13.28	11.28							97.74	3.42
95.	13.58	11.58	2.29	-0.43	3.37	0.76	3.12	0.02	98.49	2.77
97.5	13.87	11.87			3.73	0.56			90.74	3.19
99.	14.05	12.05	2.29	-0.44	3.4	0.85	2.96	0.32	94.99	3.92
102.5	14.46	12.46			3.21	0.43			89.23	4.79
105.	14.75	12.75	2.32	-0.27	3.68	0.85	3.08	-0.06	103.17	3.61
107.5	15.04	13.04			3.56	0.68			101.42	6.17
110.	15.34	13.11	2.21	-0.78	3.49	0.54	2.96	0.03	104.49	5.63
112.5	15.63	13.13			3.56	0.73			102.86	7.1
115.	15.93	13.15			3.37	0.63	2.88	0.06	96.24	10.88
117.5	16.22	13.17							95.27	8.28
120.	16.51	13.19			3.65	0.33			86.25	14.16
122.5	16.81	13.31			3.61	0.76			68.64	12.95
125.	17.1	13.6			3.47	0.31	2.99	-0.06	63.14	25.71
127.5	17.11	13.61			3.7	0.67			84.48	16.89
130.	17.11	13.61	2.21	-0.96	4.08	-0.49	3.7	0.11	95.87	13.
132.5	17.71	14.21			4.19	0.58			93.91	11.89
135.	18.3	14.8	2.27	-0.81	4.61	0.61	3.96	-0.03	93.36	9.65
137.5	18.58	15.08			3.81	0.61			88.02	8.32
139.	18.76	15.26	2.28	-0.8	4.54	0.67	4.19	-0.06	92.13	9.24
142.5	19.15	15.65			4.43	0.67				7.34
145.	19.44	15.94			4.37	0.63	4.09	-0.34	90.33	10.62
147.5	19.72	16.22							87.7	10.02
150.	20.01	16.51			4.47	0.47	4.08	-0.26	89.84	8.86
152.5	20.29	16.79			4.37	0.17			79.9	9.12
155.	20.58	17.08	3.67	-0.8			4.06	-0.08	90.53	12.75
157.5	20.86	17.36			4.41	0.51			87.46	13.26
160.	21.15	17.65	2.99	-0.06	4.47	0.51	4.07	-0.15	91.07	11.68
162.5	21.43	17.93			4.15	0.37			91.57	10.07
165.	21.72	18.22	3.08	-0.45	4.46	0.55	3.99	-0.28	81.27	20.93
167.5	22.	18.5							92.49	9.92
170.	22.29	18.79	3.14	-0.33	4.25	0.71	3.92	-0.07	89.09	12.75
172.5	22.57	19.07							80.92	14.26
175.	22.86	19.36	3.25	-0.46	4.35	0.63	3.84	-0.23	83.11	9.92
177.5	23.14	19.64							80.36	4.43
180.	23.43	19.93	3.05	-0.08			3.98	-0.04	88.23	2.45
182.5	23.71	20.21							83.95	4.35
185.	23.97	20.47	2.69	-0.62			3.55	-0.11	73.02	11.61
187.5	24.24	20.74							57.32	19.71
190.	24.5	21.					3.94	-0.4	54.43	28.97
192.5	25.7	22.2							104.55	13.48
195.	25.76	22.26	3.44	-0.54			3.91	-0.38	96.74	12.48

Tab. A

Core 23415										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	content [w-%]	>63 μm (w-%)
197.5	25.82	22.32			3.89	0.36			95.89	9.57
200.	25.89	22.39					3.87	-0.34	89.5	12.71
202.5	25.95	22.45							90.85	13.92
205.	26.01	22.51							90.73	11.16
207.5	26.07	22.57			3.98	0.83			88.41	12.51
210.	26.14	22.64	2.76	-0.16	4.22	0.7	3.73	-0.17	85.89	12.
212.5	26.2	22.7			4.09	0.68			84.44	7.7
215.	26.26	22.76	3.	-0.32			3.59	-0.34	84.37	5.21
217.5	26.32	22.82							92.17	5.31
220.	26.39	22.89	1.78	-0.74					91.89	6.38
222.5	26.45	22.95			4.27	0.38			92.23	4.72
225.	26.51	23.01	2.82	-0.41			3.32	-0.17	89.12	13.06
227.5	26.57	23.07							88.56	12.18
230.	26.63	23.13							89.36	12.72
232.5	26.7	23.2							79.98	16.5
235.	26.76	23.26					3.66	-0.13	82.8	11.4
237.5	26.82	23.32			3.92	0.78			79.11	9.98
239.	26.86	23.36	3.06	-0.27			3.66	-0.22	77.62	10.1
242.5	26.95	23.45			4.2	0.96			69.71	10.69
245.	27.12	23.62	2.94	0.06					78.57	9.35
247.5	27.29	23.79			4.04	0.84			74.7	11.49
250.	27.46	23.96	2.91	0.15			3.74	-0.07	81.64	8.28
252.5	27.63	24.13			4.24	1.09			78.87	9.5
255.	27.8	24.3	2.58	-0.07	3.99	0.88	3.6	0.04	78.8	12.6
257.5	27.98	24.48			4.07	0.91			75.47	11.96
260.	28.15	24.65			4.03	1.03	3.6	0.19	75.07	10.91
262.5	28.32	24.82			4.13	1.02			74.46	10.09
265.	28.49	24.99	2.2	-0.31	4.22	0.99	3.51	0.13		9.92
267.5	28.66	25.16			3.85	0.62			75.03	8.86
270.	28.83	25.33	2.6	-0.01	4.11	0.94	3.53	0.11	81.85	11.36
272.5	29.01	25.51			4.01	0.75			70.98	12.81
275.	29.07	25.57	2.63	0.04			3.51	0.18	77.92	8.56
277.5	29.13	25.63			4.04	0.89			77.81	9.95
280.	29.19	25.69			4.31	1.06	3.42	0.01	93.23	6.45
282.5	29.25	25.75							89.64	6.7
285.	29.31	25.81	2.89	0.04					84.32	4.57
287.5	29.38	25.88			3.98	0.6			87.12	6.46
290.	29.44	25.94	2.83	0.01			3.36	0.02	94.68	8.
292.5	29.5	26.			3.32	1.09			89.56	9.38
295.	29.76	26.26	2.58	-0.01	3.81	0.62	2.98	-0.04	88.97	9.34
297.5	30.02	26.52			3.81	0.62			86.86	8.3
300.	30.28	26.78	2.83	-0.04			2.99	0.15	81.22	16.2
302.5	30.54	27.04			3.79	0.64			82.63	9.27
305.	30.8	27.3	2.66	0.08			2.72	0.06	50.96	14.76
307.5	30.93	27.43			3.72	0.77			60.98	11.62
310.	31.07	27.57					3.51	0.	69.44	15.42
312.5	31.2	27.7							73.83	10.78
315.	31.33	27.83	2.94	-0.4	3.85	0.85	3.58	0.07	81.58	12.17
317.5	32.56	29.06			3.66	0.61			70.76	10.95
320.	32.83	29.33	2.77	-0.46			3.46	-0.34	78.26	10.9
322.5	33.11	29.61							76.15	9.09
325.	33.38	29.88	2.66	-0.27	4.06	0.48	3.44	0.03	82.19	7.18
327.5	33.65	30.15			3.89	0.96			78.51	7.39
330.	33.92	30.42	2.54	-0.54	4.	0.84	3.42	0.	83.27	9.46
332.5	34.19	30.69			4.03	0.85			78.84	8.34
335.	34.46	30.96	1.89	-0.79			3.47	-0.08	85.17	7.8
337.5	34.73	31.23							76.85	6.7
339.	34.9	31.4	2.55	-0.1			3.37	0.11	81.71	10.07
342.5	35.28	31.78			3.96	0.75			72.46	11.03
345.	35.58	32.08			3.92	0.94	3.3	-0.06	82.19	9.96
347.5	35.89	32.39							83.25	5.84
350.	36.19	32.69	2.83	-0.06	4.03	0.87	3.53	0.18	87.64	8.03
352.5	36.5	33.			3.68	1.06			87.	5.92
355.	36.8	33.3	2.53	-0.32	3.77	0.84	3.1	-0.09	90.9	9.09
357.5	37.11	33.61							84.81	10.81
360.	37.41	33.91			3.72	0.77	3.1	-0.04	89.88	5.81
362.5	37.66	34.16			3.55	0.56			89.14	6.72
365.	37.91	34.41	2.73	-0.26	3.68	0.42	2.86	-0.08	75.33	10.78
367.5	38.16	34.66			3.51	0.63			78.33	11.51
370.	38.41	34.91	2.64	-0.4	3.72	0.82	3.14	-0.04	61.81	15.9
372.5	39.19	35.69							66.54	11.17
375.	39.97	36.47	2.82	-0.22			3.36	-0.05	79.4	8.5
377.5	40.38	36.88			3.87	0.62			75.74	6.94
380.	40.78	37.28	2.83	-0.34	4.2	0.9	3.55	0.06	78.83	6.59
382.5	41.19	37.69			3.79	0.88			80.63	4.93
385.	41.59	38.09	2.86	-0.46			3.31	-0.32	75.52	7.37
387.5	42.15	38.65							80.78	4.52
390.	42.7	39.2					3.05	-0.23	89.44	3.84
392.5	43.26	39.76							87.56	3.89



Tab. A

Core 23415										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
			$\delta^{18} \text{O}$ [‰]	$\delta^{13} \text{C}$ [‰]	$\delta^{18} \text{O}$ [‰]	$\delta^{13} \text{C}$ [‰]	$\delta^{18} \text{O}$ [‰]	$\delta^{13} \text{C}$ [‰]	content [w-%]	>63 $\mu\text{m}$ (w-%)
395.	43.81	40.4	2.7	-0.26			3.08	-0.19	92.36	4.9
397.5	44.36	41.12			3.88	1.02			89.02	5.62
400.	44.92	41.83			3.83	0.95	2.88	-0.24	93.57	6.81
405.	46.03	43.26	2.28	-0.34	3.83	1.06			96.06	8.09
410.	47.13	44.69	2.58	-0.17	3.83	0.85			98.85	7.13
415.	48.24	46.13	2.56	-0.09	3.82	0.9			96.51	8.28
420.	49.27	47.46	2.54	-0.09	3.68	0.99	3.26	-0.23	93.02	8.27
425.	49.99	48.38	2.24	-0.6			3.26	-0.55	87.99	6.64
430.	50.73	49.34	2.5	-0.24	3.19	0.91			80.06	9.89
435.	51.62	50.49	2.26	-0.75	3.8	0.79	3.43	-0.84	78.68	10.84
439.	52.33	51.4	2.45	-0.39	3.64	0.83			79.65	8.4
445.	53.22	52.56	2.22	-0.98	3.75	0.82			88.83	5.96
450.	53.97	53.52	2.43	-1.01	3.61	0.78	3.13	-0.77	86.33	5.95
455.	54.72	54.49	2.45	-1.12	3.67	0.25	3.15	-0.63	88.55	3.51
460.	55.46	55.45	2.42	-1.06	3.7	0.66	2.86	-0.3	82.1	6.3
465.	56.7	56.7	2.09	-1.6			2.7	-0.48	71.56	11.88
470.	57.93	57.93	2.39	-1.1					95.3	14.11
475.	59.17	59.17	2.46	-0.73					94.52	12.85
480.	60.4	60.4	2.53	-0.55	4.22	0.49	3.31	-0.62	84.94	11.58
485.	62.07	62.07	2.46	-0.6	4.08	0.45	3.52	-0.34	71.63	8.23
490.	64.23	64.23	2.57	-0.14					77.62	11.1
495.	66.73	66.73	2.57	-0.21			3.81	-0.25	65.61	13.53
500.	69.23	69.23	2.38	-0.11	4.15	0.42	3.55	-0.86	64.81	13.76
505.	71.74	71.74	2.32	-0.08	3.72	0.36			71.45	11.41
510.	74.24	74.24					3.31	-0.47	81.	8.75
515.	76.75	76.75	2.16	0.11	3.51	0.73	3.08	-0.26	86.76	8.55
520.	79.25	79.25	2.21	0.03	3.51	0.55	3.11	-0.18	88.6	8.81
525.	79.31	79.31	2.01	-0.28					79.34	8.88
530.	79.38	79.38	2.1	-0.3	3.89	1.06			90.56	8.16
535.	79.44	79.44	2.04	-0.25	3.48	0.96			88.18	10.87
539.	79.49	79.49	2.04	-0.1	3.57	1.07			88.19	12.65
545.	79.57	79.57	2.44	-0.16	3.42	0.9			80.75	9.82
550.	79.63	79.63	2.28	-0.31	3.5	1.04	3.23	-0.09	76.91	9.01
555.	79.93	79.93	2.53	0.11	3.44	1.09	2.74	0.04	84.45	12.68
560.	80.22	80.22	2.32	-0.2	3.36	1.05	2.46	-0.1	88.72	6.8
565.	80.52	80.52	2.2	-0.31	3.5	0.9	2.39	-0.55	90.28	10.16
570.	80.81	80.81	2.19	0.	3.31	1.15	2.6	0.31		8.55
575.	81.11	81.11	2.22	-0.18	3.26	1.13			92.54	10.81
580.	81.4	81.4	2.22	-0.09	3.27	1.02			92.01	9.22
585.	81.7	81.7	2.2	-0.44	3.07	0.99			89.28	12.07
590.	82.	82.	2.21	-0.46	3.25	1.			84.88	12.82
595.	83.61	83.61	2.12	-0.56	3.28	1.02			86.09	9.78
600.	85.55	85.55	2.08	-0.17	3.41	0.83			81.2	13.11
605.	87.1	87.1	2.17	-0.24	3.95	0.79			87.45	13.78
610.	88.66	88.66	2.08	-0.36	3.89	1.03			86.81	13.29
615.	90.53	90.53	2.02	-0.46					96.44	16.42
620.	92.48	92.48			3.56	0.92			90.04	11.17
625.	94.43	94.43	2.17	-0.73	3.28	0.92			85.94	7.29
630.	96.38	96.38	2.11	-0.56	2.95	1.05			85.55	6.82
635.	97.44	97.44	1.57	-0.92	3.25	1.08			85.98	6.66
639.	98.29	98.29	1.76	-0.88	3.35	0.99			85.47	6.9
645.	99.56	99.56							89.41	5.49
650.	100.62	100.62	1.72	-0.6	3.17	1.05			91.68	7.56
655.	101.68	101.68	1.64	-0.86					100.85	7.77
660.	102.74	102.74	2.11	-0.5					99.89	6.72
665.	103.8	103.8	1.77	-0.33	3.07	1.			89.39	10.09
670.	104.67	104.67	2.08	-0.55	3.25	1.01			86.59	12.71
675.	105.55	105.55	1.7	-0.49	3.43	0.82			84.08	10.21
680.	106.42	106.42	1.73	-0.52					86.96	9.42
685.	107.3	107.3	1.74	-0.55	3.45	0.84			87.67	10.1
690.	108.17	108.17			3.4	0.74			84.57	11.6
695.	109.04	109.04	1.99	-0.56					86.77	8.19
700.	109.92	109.92	1.84	-0.43	3.58	0.69			92.03	10.15
705.	110.79	110.79	1.7	-0.5	3.64	0.68			100.72	9.15
710.	111.68	111.68	1.83	-0.18	3.51	0.54			114.58	8.07
715.	112.57	112.57	1.86	-0.31	3.53	0.87			108.83	8.89
720.	113.45	113.45	2.03	-0.35	3.24	0.68			105.89	7.08
725.	114.34	114.34			3.43	0.82			111.11	4.84
730.	115.23	115.23	2.07	-0.42	3.19	0.61			112.95	5.55
735.	116.12	116.12	1.49	-1.01					116.99	5.04
739.	116.83	116.83	1.44	-0.54	3.21	0.8			112.71	3.32
745.	117.9	117.9	1.18	-0.58	2.82	0.8			115.16	4.17
750.	118.78	118.78	1.28	-0.3	2.88	1.05			117.31	22.94
755.	119.67	119.67	0.96	-0.45	2.64	1.06			109.98	11.78
760.	120.56	120.56	0.97	-0.6	2.63	1.02			102.29	12.76
765.	121.45	121.45	1.1	-0.39	2.6	0.98			100.46	8.32
770.	122.34	122.34	0.79	-0.98	2.64	1.05			98.19	8.04
775.	123.22	123.22	0.87	-0.46	2.47	0.83			95.57	7.68
780.	124.11	124.11	0.64	-0.69	2.53	0.8			93.53	9.76

Tab. A

Core 23415										
Depth	Age	Age	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
[cm]	Cal. ka	C14-ka	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	content [w-%]	>63 μm (w-%)
785.	125.	125.	0.53	-0.53	2.43	0.88			90.29	13.63
790.	125.89	125.89	0.76	-0.9	2.64	0.62			88.	11.1
795.	127.19	127.19	1.43	-0.99	2.84	0.22			78.09	16.57
800.	128.49	128.49	2.52	-1.	3.54	0.37			63.83	28.19
805.	130.18	130.18	2.8	-0.84	3.74	0.38			66.36	10.51
810.	131.08	131.08	3.09	-0.93	4.07	0.38			68.11	10.95
815.	131.98	131.98							73.04	4.25
820.	132.87	132.87	2.89	-0.76	4.47	0.31			75.52	3.48
825.	133.77	133.77	3.06	-0.62	4.51	0.44			73.71	3.05
830.	134.77	134.77	2.94	-0.76	4.48	0.5			77.79	6.43
835.	136.18	136.18	3.16	-0.85	4.5	0.42			92.55	4.73
839.	137.43	137.43	3.11	-0.82	4.49	0.44			88.64	1.25
845.	139.98	139.98	3.09	-0.97	4.32	0.34			70.92	9.07
850.	142.38	142.38	3.07	-0.81	4.17	0.31			78.29	8.26
855.	144.78	144.78	1.96	-1.26	4.19	0.32			89.39	14.94
860.	147.19	147.19	2.25	-0.85					80.73	18.25
865.	149.59	149.59			3.97	0.06			81.55	20.
870.	152.82	152.82	2.43	-0.66	4.19	0.14			67.38	15.62
875.	156.06	156.06	2.55	-0.92	4.16	0.47			83.39	8.54
880.	159.3	159.3	2.93	-0.93	4.07	0.41			89.55	7.42
885.	162.53	162.53	2.52	-0.73	3.75	0.35			78.86	20.94
890.	165.77	165.77	1.76	-0.77	4.01	0.63			80.67	15.31
895.	169.01	169.01	2.52	-0.57	4.13	0.73			86.82	12.32
900.	172.24	172.24	2.18	-0.9	3.75	0.66			80.05	10.91
905.	175.48	175.48	2.57	-0.92	3.85	0.64			74.87	10.2
910.	178.72	178.72	2.44	-1.14	3.91	0.29			71.57	9.18
915.	181.95	181.95	2.58	-0.96	4.09	0.55			73.86	13.47
920.	185.19	185.19	2.93	-0.8	4.1	0.3			75.34	11.34
925.	186.52	186.52	2.66	-0.71	4.09	0.35			77.15	14.88
930.	187.85	187.85	1.96	-0.54	3.38	0.47			83.76	10.34
935.	189.19	189.19	2.	-0.47	3.62	0.71			65.58	10.02
939.	190.25	190.25	1.72	-0.35	3.16	0.8			77.91	18.11
945.	191.85	191.85	1.92	-0.57	2.91	0.88			82.42	18.78
950.	193.18	193.18	1.32	-0.82	2.9	0.84			79.57	13.03
955.	200.63	200.63							78.57	7.4
960.	208.09	208.09	1.63	-0.37	3.1	0.96			92.51	7.31
965.	215.54	215.54	1.61	-0.69	2.86	0.29			101.45	9.85
970.	217.95	217.95	1.84	-0.84	2.94	0.7			86.89	9.27
975.	220.35	220.35	1.78	-0.96	2.97	0.58			76.51	11.05
980.	222.76	222.76	2.56	-0.95	3.45	0.11			55.46	9.33
985.	225.16	225.16	2.46	-0.93	4.1	0.61			73.37	14.81
990.	228.37	228.37	1.99	-0.76	3.67	0.69			75.76	8.52
995.	231.57	231.57	2.27	-0.52	3.02	0.66			64.74	11.3
1000.	234.78	234.78	2.13	-0.28					63.72	6.81
1005.	237.98	237.98	1.58	-0.51	2.81	0.91			89.63	11.81
1010.	241.19	241.19	1.58	-0.71	2.8	0.94			92.09	10.25
1015.	242.26	242.26	1.54	-0.97					82.19	10.21
1020.	243.33	243.33	2.35	-0.8	3.14	0.23			51.01	18.89
1025.	244.4	244.4	2.48	-0.96	3.7	0.09			52.29	5.25
1030.	245.46	245.46	2.35	-1.1					40.5	13.93
1035.	246.53	246.53	2.69	-0.75	3.98	0.53			54.84	6.74
1040.	247.6	247.6	2.75	-0.81	4.17	0.37			64.92	6.55
1045.	249.41	249.41	2.78	-0.78	4.14	0.46			66.88	2.77
1050.	251.22	251.22	3.15	-0.53					61.47	3.18
1055.	253.02	253.02	2.84	-0.57					67.24	2.89
1060.	254.83	254.83	2.34	-0.82					65.25	6.37
1065.	256.64	256.64							62.43	9.47
1070.	258.44	258.44	2.25	-0.86					21.93	18.27
1075.	260.25	260.25							29.06	14.68
1080.	262.06	262.06	2.4	-0.91					52.16	5.31
1085.	263.87	263.87	2.51	-1.1					53.17	5.02
1090.	265.67	265.67	3.32	-1.07					55.9	4.45
1095.	267.48	267.48	3.39	-0.94	4.08	0.18			58.67	5.16
1100.			2.62	-0.47	3.65	0.31			65.82	12.17
1105.									86.03	20.9
1110.									79.98	16.25
1115.			2.68	-1.05					63.77	13.08
1120.			2.4	-0.72					57.88	10.71

Tab. A

Core 23416										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 µm (w-%)
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
5.	0.	0.	0.99	-0.09	2.64	0.78			120.89	14.96
7.5	0.35	0.33							120.43	8.19
10.	0.7	0.65							113.86	8.54
12.5	1.05	0.97							113.14	4.97
15.	1.4	1.3	0.98	-0.22	2.73	0.87			108.6	5.77
17.5	1.75	1.63							111.3	7.22
20.	2.1	1.95							98.66	6.8
22.5	2.45	2.28							105.91	8.83
25.	2.8	2.6	1.14	-0.16	2.81	0.5			99.17	7.65
27.5	3.15	2.93							107.63	7.63
30.	3.5	3.25	1.02	-0.12					97.46	5.77
32.5	3.85	3.57							105.21	4.97
35.	4.2	3.9	0.95	-0.27	2.68	1.1			95.85	5.8
37.5	4.55	4.22							101.3	4.83
40.	4.9	4.55	1.06	-0.29					96.37	4.71
42.5	5.25	4.87							98.09	8.38
44.	5.46	5.07	0.88	-0.21	2.67	0.93			97.83	6.8
47.5	5.95	5.52							99.42	7.37
50.	6.3	5.85							92.69	6.45
52.5	6.65	6.17							97.02	8.08
55.	7.	6.5	1.08	-0.51	2.77	0.79			93.83	9.64
57.5	7.35	6.82							98.01	8.35
60.	7.7	7.15	1.03	-0.67	2.87	0.77			96.2	7.73
62.5	8.05	7.47							100.6	6.82
65.	8.4	7.8	1.11	-0.63	2.86	0.94			95.24	6.76
67.5	8.75	8.12							101.93	7.48
70.	9.1	8.45	1.38	-0.72	2.9	1.01			99.	7.04
72.5	9.45	8.77							106.41	9.06
75.	9.8	9.1	1.54	-0.53	2.83	0.8			104.19	9.77
77.5	11.1	9.75							112.92	12.21
80.	12.4	10.4	1.94	-0.7	3.63	0.53			118.06	14.51
82.5	12.74	10.74							114.13	17.13
85.	13.07	11.07	2.36	-0.37	3.63	0.31			110.75	12.93
87.5	13.41	11.41							108.27	14.86
90.	13.74	11.74	2.09	-0.55					108.57	9.91
92.5	14.08	12.08							110.28	7.24
95.	14.41	12.41	2.36	-0.53	3.54	0.82	2.9	0.17	105.15	7.49
97.5	14.75	12.75							106.15	6.4
100.	15.09	13.09	2.46	-0.51	3.86	0.16	2.88	0.14	100.49	6.91
102.5	15.42	13.12							95.53	8.6
105.	15.76	13.14			3.81	0.05	2.82	0.06	90.88	1.86
107.5	16.09	13.16							93.87	4.14
110.	16.43	13.18					2.85	0.04	81.95	17.78
112.5	16.76	13.26							39.1	27.8
115.	17.1	13.6			3.87	0.03	2.77	0.06	44.89	26.79
117.5	17.11	13.61							90.63	23.2
120.	17.11	13.61			4.16	0.13	3.43	0.08	124.29	16.68
122.5	17.71	14.21							116.25	8.42
125.	18.3	14.8					4.09	0.06	103.44	6.74
127.5	18.51	15.01							110.41	9.91
130.	18.72	15.22			4.51	0.38			105.1	7.74
132.5	18.92	15.42							106.29	8.39
135.	19.13	15.63					3.97	-0.06	100.85	10.21
137.5	19.34	15.84							102.22	7.93
140.	19.55	16.05	3.6	-0.81					102.47	11.33
142.5	19.76	16.26							107.19	10.07
144.	19.88	16.38					3.99	-0.15	106.47	10.37
147.5	20.17	16.67							107.52	10.85
150.	20.38	16.88							106.34	9.51
152.5	20.59	17.09							104.48	9.19
155.	20.8	17.3					4.11	-0.03	95.22	10.48
157.5	21.01	17.51							105.76	9.79
160.	21.21	17.71	2.93	-0.57					101.85	7.65
162.5	21.42	17.92							105.24	7.14
165.	21.63	18.13					3.92	-0.14	91.8	7.12
167.5	21.84	18.34							96.12	7.43
170.	22.05	18.55	3.01	-0.21					85.3	2.54
172.5	22.25	18.75							91.54	2.27
175.	22.46	18.96							99.43	2.23
177.5	22.67	19.17							104.26	9.91
180.	22.88	19.38							107.22	8.51
182.5	23.09	19.59							87.02	0.78
185.	23.29	19.79					3.42	-0.08	57.07	0.45
187.5	23.5	20.							71.8	0.83
190.	23.71	20.21							91.41	0.65
192.5	24.11	20.61							26.33	23.1
195.	24.5	21.							20.7	21.94
197.5	24.8	21.3							90.41	5.64
200.	25.1	21.6					4.	-0.33	77.33	1.53

**Tab. A**

Core 23416										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 μm (w-%)
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
202.5	25.4	21.9							97.36	2.93
205.	25.7	22.2					3.96	-0.22	105.3	7.08
207.5	25.77	22.27							80.2	1.17
210.	25.84	22.34							84.03	2.37
212.5	25.91	22.41							98.69	5.84
215.	25.98	22.48					3.78	-0.2	64.37	1.35
217.5	26.04	22.54							106.45	12.85
220.	26.11	22.61					3.83	-0.33	102.5	23.73
222.5	26.18	22.68							121.01	6.75
225.	26.25	22.75	3.12	-0.06	4.3	0.34	3.88	-0.24	101.02	8.71
227.5	26.32	22.82							113.68	6.49
230.	26.39	22.89	3.08	0.03					91.61	4.22
232.5	26.46	22.96							109.65	3.69
235.	26.53	23.03	2.76	0.03			3.42	-0.15	99.54	3.65
237.5	26.6	23.1							108.77	4.79
240.	26.67	23.17	2.72	-0.3	4.23	0.31			106.1	9.19
242.5	26.74	23.24							113.19	6.98
244.	26.78	23.28	3.05	-0.26			3.53	-0.2	101.19	7.57
247.5	26.88	23.38							107.9	8.55
250.	26.95	23.45					3.22	-0.38	80.15	6.02
252.5	27.09	23.59							86.04	12.94
255.	27.23	23.73							82.29	9.73
257.5	27.37	23.87							84.92	10.67
260.	27.51	24.01					3.55	0.05	86.16	9.95
262.5	27.66	24.16							100.88	16.55
265.	27.8	24.3	3.51	0.28			3.59	0.04	86.58	10.36
267.5	27.94	24.44							91.44	11.56
270.	28.08	24.58	3.08	0.29					80.15	15.16
272.5	28.22	24.72							85.15	10.69
275.	28.37	24.87	3.36	0.06					92.94	8.23
277.5	28.51	25.01							102.88	7.67
280.	28.65	25.15	3.04	0.16	4.28	0.61			105.52	7.68
282.5	28.79	25.29							100.91	9.39
285.	28.93	25.43	3.05	0.01	4.08	0.18			83.29	12.28
287.5	29.07	25.57							92.96	9.02
290.	29.22	25.72	3.03	0.16					93.29	8.09
292.5	29.36	25.86							98.54	9.64
295.	29.5	26.			3.88	0.38			91.72	9.6
297.5	29.52	26.02							86.66	12.04
300.	29.54	26.04	2.79	0.31	3.89	0.65			92.78	10.29
302.5	29.56	26.06							100.32	7.72
305.	29.58	26.08	2.84	0.29	4.04	0.43			106.23	6.99
307.5	29.6	26.1							108.12	7.71
310.	29.62	26.12							93.72	9.17
312.5	29.64	26.14							89.09	15.63
315.	29.66	26.16	2.8	0.11					86.79	10.26
317.5	29.68	26.18							98.15	11.45
320.	29.7	26.2	2.78	0.18					98.94	8.98
322.5	29.72	26.22							118.49	6.25
325.	29.74	26.24	2.63	0.2					99.77	7.38
327.5	29.76	26.26							129.65	6.42
330.	29.78	26.28	2.7	0.06					132.39	6.45
332.5	29.8	26.3							140.33	8.98
335.	29.94	26.44	2.7	0.12	3.78	-0.19			113.06	11.86
337.5	30.09	26.59							101.31	14.79
340.	30.23	26.73							74.84	19.04
342.5	30.37	26.87							78.05	14.23
344.	30.46	26.96	2.91	-0.5					71.31	17.91
347.5	30.66	27.16							28.84	21.71
350.	30.8	27.3							22.97	26.69
352.5	31.07	27.57							65.45	20.06
355.	31.33	27.83	4.16	-0.02					88.78	15.03
357.5	31.49	27.99							89.77	10.39
360.	31.64	28.14							89.74	9.34
362.5	31.79	28.29							89.59	12.88
365.	31.95	28.45	2.62	-0.27	4.22	0.51			94.66	8.04
367.5	32.1	28.6							107.43	5.96
370.	32.26	28.76	2.55	-0.53					101.49	5.42
372.5	32.41	28.91							86.18	14.34
375.	32.56	29.06			4.11	0.62			86.57	10.98
377.5	32.95	29.45							98.86	10.52
380.	33.34	29.84							99.39	8.57
382.5	33.73	30.23							105.86	6.77
385.	34.11	30.61	2.54	-0.42					105.78	7.14
387.5	34.5	31.							96.24	10.97
390.	34.89	31.39	2.55	-0.6	4.01	0.53			89.19	10.79
392.5	35.28	31.78							87.83	11.9
395.	35.51	32.01	2.38	-0.26					93.03	9.72
397.5	35.75	32.25							108.08	8.58

Tab. A

Core 23416										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 μm (w-%)
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
400.	35.99	32.49			3.77	0.39			104.77	8.7
405.	36.46	32.96	4.03	0.01					108.1	8.74
410.	36.94	33.44							102.39	7.1
415.	37.41	33.91	3.24	0.04	3.71	0.56			116.5	7.02
420.	37.91	34.41							50.42	14.86
425.	38.41	34.91							27.07	27.22
430.	39.71	36.21	2.77	-0.21					93.69	8.25
435.	40.79	37.29	2.65	-0.32					105.04	3.65
440.	41.8	38.3	2.8	-0.32	4.04	0.57			106.08	4.67
444.	42.61	39.11	2.58	-0.26	3.9	0.55			104.57	7.32
450.	43.83	40.43	2.49	-0.33	4.08	0.44			107.21	6.77
455.	44.84	41.74	2.45	-0.22					109.99	9.36
460.	45.86	43.05							109.55	12.76
465.	46.87	44.36	2.38	-0.31	3.85	0.55			93.54	10.76
470.	48.	45.81	2.01	-0.46	3.83	0.72			99.77	12.84
475.	49.13	47.27	2.59	-0.54	3.79	0.41			98.66	9.98
480.	50.56	49.11	2.34	-0.87					80.11	13.38
485.	51.44	50.26	2.57	-0.82					91.85	8.03
490.	52.33	51.4	2.39	-0.76	3.93	0.65			102.03	7.01
495.	53.33	52.69	2.23	-1.19	4.01	0.35			103.84	6.11
500.	54.33	53.98	2.4	-1.21	3.92	0.78			100.15	5.12
505.	55.33	55.27	2.51	-0.9					93.87	7.51
510.	56.33	56.33			3.94	0.31			93.18	8.02
511.	56.53	56.53	2.69	-0.97						
515.	57.34	57.34							64.18	14.07
519.	58.16	58.16	2.35	-0.45						
520.	58.44	58.44							108.05	14.42
523.	59.26	59.26	3.27	-0.47						
525.	59.75	59.75							110.03	9.92
530.	60.99	60.99	4.22	-0.1					104.43	3.69
535.	62.21	62.21							90.32	11.57
540.	63.08	63.08							79.43	14.62
545.	63.72	63.72							78.28	13.68
550.	64.54	64.54							72.41	9.04
555.	66.1	66.1							82.79	7.34
560.	67.67	67.67	3.5	0.39					92.16	3.42
565.	69.23	69.23			4.05	0.36			93.1	7.29
570.	70.79	70.79	2.25	0.26					101.02	6.33
575.	72.36	72.36	1.85	-0.01	3.86	0.63			105.44	9.32
580.	73.92	73.92	2.05	-0.2					104.46	8.7
585.	75.49	75.49							86.77	10.74
590.	76.43	76.43	2.08	-0.12					93.03	8.45
595.	77.37	77.37	1.91	-0.08	3.61	0.72			89.19	10.5
600.	78.31	78.31	2.04	-0.25	3.7	0.79			91.54	14.03
605.	79.25	79.25			3.46	0.67			90.62	10.73
610.	79.63	79.63	2.33	-0.26					76.34	8.81
615.	79.88	79.88	2.34	-0.1	3.61	0.82			87.04	6.33
620.	80.12	80.12	2.46	-0.21					91.51	6.48
625.	80.37	80.37	2.28	-0.1	3.57	0.54			95.53	5.82
630.	80.62	80.62	2.1	-0.21					102.33	5.09
635.	80.87	80.87	2.18	-0.09	3.52	0.88			100.17	7.7
640.	81.11	81.11	2.22	-0.1					95.73	7.95
645.	81.36	81.36	2.14	-0.12	3.39	0.52			97.49	11.94
650.	81.61	81.61	2.01	-0.25	3.43	0.78			100.48	10.97
655.	81.86	81.86							104.28	7.46
660.	82.4	82.4	2.01	-0.5					103.89	7.63
665.	84.13	84.13	2.05	-0.44	3.21	0.81			97.61	11.32
670.	85.02	85.02			3.03	0.86			105.77	8.33
673.	85.55	85.55	2.2	-0.17						
675.	86.4	86.4			3.82	0.52			85.28	15.92
680.	88.54	88.54							70.81	7.12
681.	88.97	88.97	2.08	-0.14						
685.	89.58	89.58	2.15	-0.11					102.78	8.58
690.	90.33	90.33	1.84	-0.12					77.23	7.04
695.	91.09	91.09	2.09	-0.3	3.5	0.72			79.95	7.38
700.	91.85	91.85	2.05	-0.35					83.72	5.56
705.	92.6	92.6			3.51	0.38			111.08	5.12
710.	93.36	93.36	1.9	-1.02					108.61	4.18
715.	94.12	94.12	1.84	-0.86					110.27	3.58
720.	94.87	94.87	1.81	-0.94					119.5	3.08
725.	95.63	95.63	2.12	-0.65	3.34	0.71			115.29	2.52
730.	96.39	96.39	1.79	-0.83	3.53	0.51			117.9	3.74
735.	97.14	97.14							119.14	4.16
740.	97.9	97.9	2.79	-0.53					113.25	5.67
745.	98.66	98.66	1.03	-1.49	3.32	0.59			79.58	4.21
750.	99.41	99.41	1.38	-0.84	3.35	0.83			108.41	4.45
755.	100.17	100.17							111.88	4.14
760.	100.93	100.93	2.8	-0.27					111.9	3.24
765.	101.68	101.68	2.	-0.63	3.31	0.58			110.21	4.36

Tab. A

Core 23416										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 µm (w-%)
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
770.	102.44	102.44	1.81	-0.64	3.42	0.74			111.28	4.63
775.	103.2	103.2	1.96	-0.64	3.39	0.56			108.81	6.06
780.	103.95	103.95	2.03	-0.63					101.72	5.91
785.	104.71	104.71	2.05	-0.55					101.89	4.34
790.	105.47	105.47	1.7	-0.57					96.85	4.01
795.	106.22	106.22	1.83	-0.68					104.61	2.83
800.	106.98	106.98	1.71	-0.52					106.43	4.31
805.	107.73	107.73							107.26	4.18
810.	108.49	108.49	2.14	-0.36					100.94	5.14
815.	109.25	109.25	2.02	-0.51					83.2	3.52
820.	110.	110.	1.6	-0.42					111.61	4.27
825.	110.76	110.76			3.59	0.6			118.85	6.01
830.	111.52	111.52	1.69	-0.2					125.04	6.13
835.	112.27	112.27							134.35	5.87
840.	113.03	113.03	1.64	-0.61					135.46	4.86
845.	113.79	113.79							140.62	4.47
850.	114.54	114.54	1.69	-0.39					97.23	4.27
855.	115.3	115.3	1.83	-0.69					101.68	2.99
860.	116.06	116.06	1.94	-0.27					97.94	2.99
865.	116.81	116.81	1.45	-0.59					97.8	3.09
870.	117.57	117.57	1.83	-0.09	3.05	0.39			94.54	3.55
875.	118.33	118.33	0.68	-1.08					93.76	3.19
880.	119.08	119.08	0.4	-0.94					92.52	3.73
885.	119.84	119.84							87.92	4.32
890.	120.6	120.6	0.94	-0.88					87.1	5.45
895.	121.35	121.35							84.42	4.89
900.	122.11	122.11							79.4	6.63
905.	122.86	122.86	1.03	-0.64	2.67	0.62			81.7	5.33
910.	123.62	123.62	0.68	-0.71					78.43	6.61
915.	124.38	124.38	0.65	-0.91					79.84	6.16
920.	125.13	125.13	0.79	-0.77	2.57	0.79			76.16	7.53
925.	125.89	125.89	0.63	-0.8					72.68	7.74
930.	126.97	126.97	0.98	-1.01	2.43	0.44			69.8	12.02
935.00	128.06	128.06							66.27	17.26
940.00	129.76	129.76			3.52	0.14			74.21	21.01
941.00	130.18	130.18	3.02	-0.55						
945.00	131.14	131.14			3.78	0.24			65.57	14.66
950.00	132.34	132.34	3.02	-0.66					74.72	8.98
955.00	133.53	133.53							59.94	2.33
959.00	134.49	134.49	3.03	-0.73						
960.00	134.77	134.77	3.23	-0.63					77.58	3.31
965.00	136.18	136.18	3.21	-0.85					94.11	7.42
970.00					4.31	-0.20			93.89	3.98
971.00			3.17	-0.98						
975.00			3.11	-0.77					68.25	2.53
980.00									90.31	7.28
985.00			2.67	-0.70					83.98	18.23
990.00			3.14	-0.87					80.56	6.78
995.00			2.47	-0.83					92.62	7.58
1000.00			2.53	-1.15					72.80	6.88
1005.00			2.51	-1.12					65.04	5.77
1010.00			2.56	-0.67	3.92	-0.25			92.71	7.35
1015.00			2.92	-0.65					75.29	3.07
1020.00			2.64	-1.21					114.67	2.37
1025.00			1.78	-0.43					102.92	3.60
1030.00					3.22	0.43			85.15	9.31

Tab. A

Core 23417										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
			$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	content [w-%]	>63 $\mu\text{m}$ (w-%)
2.	4.85	4.5	0.8	-0.32	2.64	0.77			119.96	9.61
2.5	4.93	4.58	0.77	-0.09					113.8	8.3
5.	5.33	4.95	0.92	-0.22	2.24	0.68			107.35	7.58
7.5	5.74	5.33							103.35	5.95
10.	6.15	5.71	0.89	-0.08	2.65	0.82			104.14	8.96
12.5	6.55	6.08	0.89	-0.23	2.75	0.8			106.5	5.97
15.	6.96	6.46	0.78	-0.25	2.64	0.92	2.86	0.41	105.16	10.5
17.5	7.36	6.84	0.78	-0.32	2.75	0.81			103.07	12.29
20.	7.77	7.21	0.94	-0.21	2.75	0.97	2.96	-0.17	101.17	10.84
22.5	8.18	7.59	0.92	-0.17	2.78	0.84			98.5	15.01
25.	8.58	7.97			2.66	0.79			97.61	11.66
27.5	8.99	8.35	0.9	-0.33	2.81	0.65			70.2	
30.	9.39	8.72	0.98	-0.22	2.61	0.99			98.63	8.57
32.5	9.8	9.1	1.16	-0.3	2.65	0.68	2.88	0.16	97.62	9.24
35.	10.09	9.24	1.08	-0.26			2.93	0.18	95.66	13.86
37.5	10.38	9.39	1.07	-0.51	2.74	0.96	2.65	0.1	100.64	10.47
40.	10.67	9.53	1.32	-0.51	2.84	0.95	3.24	0.46	100.97	7.88
42.5	10.96	9.68	1.1	-0.58	2.86	0.71			97.25	
45.	11.24	9.82	1.33	-0.54	2.98	0.45			102.06	8.92
47.5	11.53	9.97	1.62	-0.48	2.79	0.93	2.81	0.2	103.12	12.26
50.	11.82	10.11	1.82	-0.7	2.74	0.33	3.25	0.5	104.88	15.12
52.5	12.11	10.26	1.7	-0.62	2.34	0.15			108.24	10.77
55.	12.4	10.4	1.94	-0.51	2.99	0.65	2.83	0.4	97.53	14.26
57.5	12.61	10.61	2.07	-0.61	3.19	0.44	3.	0.17	106.15	10.96
60.	12.83	10.83	2.03	-0.38	3.39	0.62	2.89	-0.08	107.31	9.68
62.5	13.04	11.04	2.24	-0.38	3.14	0.54	3.06	0.31	108.42	9.16
65.	13.25	11.25	2.16	-0.28	3.43	0.38			106.65	6.37
67.5	13.47	11.47	2.22	-0.29	3.67	0.31	3.09	-0.03	110.24	4.98
70.	13.68	11.68	2.16	-0.27	3.7	0.68	3.06	0.03	111.19	7.84
72.5	13.9	11.9	2.1	-0.48	3.71	0.4	3.02	0.01	114.66	10.12
75.	14.11	12.11	2.26	-0.55	3.67	0.48	2.95	0.09	110.07	7.12
77.5	14.32	12.32	2.18	-0.7	3.44	0.3	3.92	-0.19	105.5	
80.	14.54	12.54	2.17	-0.33			3.12	0.16	104.61	4.73
82.5	14.75	12.75	2.24	-0.5			2.81	0.	101.62	2.49
85.	15.53	13.13	2.2	-0.85	3.58	0.25			86.47	1.71
87.5	16.32	13.18	2.32	-0.74	3.86	0.07	2.77	0.07	60.37	28.75
90.	17.1	13.6					2.35	-0.09	29.68	24.85
92.5	17.11	13.61			4.33	0.16	2.86	-0.01	34.28	23.84
95.	17.11	13.61			4.15	0.07			111.85	34.86
97.5	18.3	14.8			4.51	0.12			99.31	20.13
99.	18.6	15.1	3.28	-0.85			3.55	-0.05	117.83	13.11
102.5	19.28	15.78	3.14	-0.62					115.21	5.83
105.	19.78	16.28	3.07	-0.62			3.83	-0.15	102.05	3.13
107.5	20.27	16.77	3.49	-0.51	4.31	0.52				
110.	20.76	17.26	3.24	-1.03			3.88	-0.53	107.29	12.03
112.5	21.25	17.75	3.5	-0.58			3.75	-0.43	111.7	7.64
115.	21.74	18.24	3.28	-0.49	4.62	0.04			111.24	8.3
117.5	22.23	18.73	3.51	-0.7	4.4	0.01	3.87	-0.67	112.	8.48
120.	22.73	19.23	3.43	-0.77	4.63	0.32	3.9	-0.25	109.92	7.8
122.5	23.22	19.72	3.6	-0.64	4.61	0.21	3.8	-0.48	112.03	8.44
125.	23.71	20.21	3.51	-0.68	4.57	0.14			109.3	12.25
127.5	24.11	20.61	3.31	-0.49			3.78	-0.62	109.51	11.47
130.	24.5	21.	3.47	-0.83			4.02	-0.44	112.1	9.34
132.5	25.1	21.6	3.16	-0.78					104.17	15.78
135.	25.7	22.2	3.29	-0.53	4.56	0.15	3.79	-0.27	105.45	12.34
137.5	25.94	22.44	3.18	-0.63	4.54	0.32			104.8	13.36
140.	26.17	22.67	2.98	-0.35	4.26	0.45	3.74	-0.43	109.02	8.65
142.5	26.41	22.91	3.07	-0.26	4.52	0.2			108.57	8.42
145.	26.65	23.15	3.29	-0.28	4.48	0.11	4.04	-0.22	98.53	7.98
147.5	26.89	23.39	2.84	-0.25	4.36	0.05	3.8	-0.16	102.74	8.14
150.	27.12	23.62	3.16	-0.37	4.49	0.28			95.56	6.13
152.5	27.36	23.86	3.05	0.03	4.52	0.21				
155.	27.6	24.1	3.12	-0.04					98.92	3.03
157.5	27.84	24.34	3.1	0.05			3.81	-0.21	102.03	2.36
160.	28.07	24.57	3.	0.02			3.91	-0.24	101.7	3.07
162.5	28.31	24.81	2.51	-0.29	4.02	0.	3.56	-0.48	100.47	7.81
165.	28.55	25.05	3.16	-0.27			3.64	-0.51	95.91	2.33
167.5	28.79	25.29							84.86	0.82
170.	29.02	25.52					3.46	-0.29	101.2	2.72
172.5	29.26	25.76							78.04	0.21
175.	29.5	26.					3.18	-0.23	92.59	1.46
177.5	29.65	26.15					3.3	-0.15	70.52	4.91
180.	29.8	26.3					3.25	-0.2	87.87	2.48
182.5	30.13	26.63					2.61	0.03	25.24	25.36
185.	30.47	26.97							22.79	20.03
187.5	30.8	27.3					3.46	-0.46	19.06	21.91
190.	31.33	27.83	3.33	-0.43					114.43	4.11
192.5	31.51	28.01					3.72	-0.75	80.11	49.4
195.	31.69	28.19			4.15	0.16			114.73	7.03

Tab. A

Core 23417										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
			$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	content [w-%]	>63 $\mu\text{m}$ (w-%)
197.5	31.86	28.36					3.83	-0.38	102.84	7.3
199.	31.97	28.47	3.02	-0.67	4.13	-0.1	3.94	-0.38	112.7	10.01
202.5	32.21	28.71			4.24	-0.05			74.66	7.88
205.	32.39	28.89	3.4	-0.55	3.93	0.27	3.66	-0.51	79.11	1.47
207.5	32.56	29.06							58.63	4.22
210.	32.69	29.19	2.86	-0.08			3.41	-0.91	89.76	9.
212.5	32.81	29.31			4.38	0.14			99.55	10.91
215.	32.93	29.43	3.1	-0.01	4.14	0.06			102.38	13.79
217.5	33.06	29.56							100.36	7.
220.	33.18	29.68	3.05	0.15			3.64	-0.74	103.45	4.94
222.5	33.3	29.8			4.44	0.22			92.19	4.89
225.	33.43	29.93	2.95	0.34	4.13	0.18			122.04	1.39
227.5	33.55	30.05	2.84	0.2					124.98	1.31
230.	33.67	30.17	2.75	0.01			3.47	-0.78	108.66	5.67
232.5	33.8	30.3	2.9	-0.14			3.41	-0.73	119.2	2.88
235.	33.92	30.42	3.08	-0.09	3.83	0.21	3.32	-0.62	116.08	8.67
237.5	34.04	30.54	2.98	-0.14	4.23	0.35	3.17	-0.49	108.13	6.5
240.	34.17	30.67	2.88	-0.12	4.09	0.39	3.28	-0.35	111.05	5.63
242.5	34.29	30.79	2.73	-0.11	4.01	0.17	3.36	-0.28		3.27
245.	34.41	30.91	2.74	-0.18			3.37	-0.37	122.74	3.15
247.5	34.54	31.04	2.74	0.	4.3	-0.09	3.32	-0.35	92.5	3.92
250.	34.66	31.16	2.6	-0.3	4.12	0.21	3.51	-0.16	117.69	3.74
252.5	34.78	31.28	2.65	-0.07					113.81	2.36
255.	34.91	31.41	2.73	-0.45	4.16	-0.01	3.58	-0.41	106.97	8.76
257.5	35.03	31.53	3.04	0.14					99.13	11.16
260.	35.15	31.65	3.18	0.34					90.42	9.97
262.5	35.28	31.78	3.19	0.34	4.2	0.5	3.41	-0.23	82.18	20.85
265.	35.36	31.86	2.9	0.19					101.36	12.87
267.5	35.44	31.94	2.84	0.14	4.24	0.39	3.48	-0.23	99.87	12.15
270.	35.51	32.01	2.74	0.11	4.03	0.3	3.44	-0.06	92.24	11.14
272.5	35.59	32.09	2.67	0.19	4.08	0.09	3.26	-0.03	89.64	12.93
275.	35.67	32.17	2.71	0.			3.47	-0.06	85.47	13.55
277.5	35.75	32.25	2.84	0.			3.57	-0.24	94.06	12.53
280.	35.83	32.33	2.93	-0.28	3.91	0.2	3.38	-0.23	96.28	11.16
282.5	35.91	32.41							105.18	12.65
285.	35.99	32.49	2.75	-0.19	3.68	0.24	3.44	0.05	89.36	10.52
287.5	36.07	32.57	2.69	-0.15			3.44	-0.15	98.02	8.57
290.	36.15	32.65	2.53	-0.47	3.96	0.43			92.84	9.43
292.5	36.23	32.73	2.54	-0.39	4.11	0.43	3.6	0.01	96.63	12.71
295.	36.3	32.8	2.65	-0.46	3.95	0.31	3.61	-0.08	86.2	11.61
297.5	36.38	32.88	2.57	-0.28	3.97	0.55	3.43	-0.12	86.01	12.81
300.	36.46	32.96	2.5	-0.54	4.09	0.17	2.97	0.02	102.51	10.
302.5	36.54	33.04	2.55	-0.33	4.13	0.33	3.42	-0.14	102.15	11.41
305.	36.62	33.12	1.94	-0.74					103.15	11.28
307.5	36.7	33.2	2.3	-0.65	4.22	0.81			97.5	12.93
310.	36.78	33.28	1.56	-0.57	4.07	0.52	3.38	-0.02	94.95	9.16
312.5	36.86	33.36	2.62	-0.2	3.93	0.61			99.65	7.96
315.	36.94	33.44	2.47	-0.05	3.76	0.52	3.44	-0.11	108.74	8.44
317.5	37.02	33.52	2.5	-0.3	3.8	0.19	3.2	-0.09	108.12	11.86
320.	37.09	33.59	2.62	-0.16	4.02	0.69	3.16	-0.08	113.14	11.49
322.5	37.17	33.67	2.46	-0.12	3.97	0.65	3.22	-0.05	111.87	10.68
325.	37.25	33.75	2.7	-0.22			3.13	-0.15	116.6	14.35
327.5	37.33	33.83			4.18	0.76			108.27	11.11
330.	37.41	33.91	2.19	-0.12			3.17	-0.03	116.13	10.16
332.5	37.58	34.08			4.04	0.71			109.83	9.39
335.	37.74	34.24	2.31	-0.15	3.81	0.43			89.21	11.89
337.5	37.91	34.41			4.02	0.36			75.31	15.23
340.	38.08	34.58	2.61	-0.19	3.56	0.78	2.91	-0.28	73.47	14.94
342.5	38.24	34.74							56.89	17.3
345.	38.41	34.91					2.51	0.1	28.24	25.45
347.5	39.19	35.69							29.16	24.92
350.	39.97	36.47	2.81	-0.35	3.9	0.67	3.35	0.06	112.7	7.2
352.5	40.65	37.15			3.91	0.2			107.79	8.34
355.	41.32	37.82	2.78	-0.02						26.77
357.5	41.99	38.49			3.92	0.43			109.69	5.34
360.	42.67	39.17	3.26	0.12	4.	0.26			110.13	9.17
362.5	43.34	39.84			3.81	0.39			104.62	7.87
365.	44.01	40.66	2.78	0.08	3.5	0.4			111.12	7.06
367.5	44.69	41.53			4.04	0.45			99.4	7.2
370.	45.36	42.4	2.85	-0.21	4.08	0.51			105.64	9.34
372.5	46.03	43.27			3.78	0.59			111.05	6.67
375.	46.71	44.14	2.47	-0.06	3.89	0.79			112.59	8.79
377.5	47.38	45.01			3.82	0.4			106.03	8.38
380.	48.05	45.88	2.51	-0.02	3.76	0.33	3.18	-0.3	111.25	9.82
382.5	48.73	46.75			3.7	0.69			102.99	11.97
385.	49.23	47.4	2.46	0.	3.73	0.97			80.23	10.35
387.5	49.49	47.73			3.8	0.76			96.86	15.72
390.	49.74	48.06	2.35	-0.1	3.89	0.18			91.66	19.11
392.5	50.	48.39			3.78	0.58			101.57	11.26



Tab. A

Core 23417										
Depth	Age	Age	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
[cm]	Cal. ka	C14-ka	$\delta^{18}O$ [‰]	$\delta^{13}C$ [‰]	$\delta^{18}O$ [‰]	$\delta^{13}C$ [‰]	$\delta^{18}O$ [‰]	$\delta^{13}C$ [‰]	content [w-%]	>63 $\mu m$ (w-%)
395.	50.25	48.72	2.19	-0.2	3.75	0.43	3.08	-0.73	95.53	11.89
397.5	50.51	49.05			3.78	0.27			88.65	10.64
401.	50.81	49.44	2.14	-0.39	3.82	0.56	3.22	-0.43	88.66	10.92
402.5	51.13	49.85			3.74	0.49			83.13	12.6
405.	51.44	50.26	2.13	-0.51	3.74	0.23			84.03	11.74
407.5	51.76	50.67			4.01	0.07			86.96	9.9
410.	52.07	51.07	2.4	-0.71	3.75	0.64	3.24	-0.61	85.02	10.1
412.5	52.38	51.47			4.	0.41			94.94	6.35
415.	52.66	51.84	2.23	-0.73	3.58	0.41	3.34	-0.37	95.25	6.63
417.5	52.94	52.2			3.96	0.49			98.25	4.86
420.	53.22	52.56	2.36	-0.95			3.08	-1.09	103.76	4.22
422.5	53.5	52.92			4.14	0.41	2.76	0.29	95.23	4.97
425.	53.78	53.28	2.4	-0.89	3.57	0.47			101.29	5.96
427.5	54.06	53.64							92.91	6.39
430.	54.34	54.	2.39	-0.96					88.39	3.73
432.5	54.62	54.37							90.46	8.01
435.	54.9	54.73	2.27	-0.93	3.77	0.28	2.91	-0.54	93.86	9.97
437.5	55.18	55.09							81.76	10.54
440.	55.46	55.45	2.38	-0.88	3.66	0.35	2.88	-0.28	68.19	13.82
442.5	56.14	56.14							89.97	12.16
445.	56.81	56.81	1.98	-1.21	3.88	0.03	2.75	-0.38	108.54	10.16
447.5	57.49	57.49							116.4	11.83
450.	58.16	58.16	2.38	-0.93			2.98	-0.3	97.34	28.8
452.5	58.85	58.85							112.48	11.8
455.	59.4	59.4					3.23	-0.6	111.77	7.75
457.5	59.73	59.73			4.14	0.			99.33	6.61
460.	60.07	60.07	2.92	-0.11			3.27	-0.58	106.16	5.2
462.5	60.4	60.4			4.52	-0.07			97.54	7.76
465.	61.17	61.17	2.52	-0.26			3.63	-0.37	92.05	6.68
467.5	61.93	61.93							81.39	11.11
470.	62.7	62.7			4.19	-0.38	3.65	-0.58	81.34	12.52
472.5	63.33	63.33							78.42	12.88
475.	63.97	63.97					3.7	-0.63	75.13	11.53
477.5	64.66	64.66							69.4	10.77
480.	65.38	65.38					3.62	-0.51	74.45	10.62
482.5	66.1	66.1							74.74	10.55
485.	66.82	66.82			3.82	0.09	3.64	-0.48	88.24	9.05
487.5	67.55	67.55							90.95	6.96
490.	68.27	68.27							80.7	8.48
492.5	68.99	68.99							87.78	6.75
495.	69.71	69.71	2.44	0.29	3.98	0.33	3.09	-0.73	93.72	6.33
497.5	70.43	70.43							105.02	4.83
500.	71.16	71.16	2.44	0.23	3.83	0.45	3.09	-0.68	110.58	8.5
502.5	71.88	71.88							107.45	6.34
505.	72.6	72.6	2.19	0.03	3.88	0.41			103.25	8.98
507.5	73.32	73.32							98.04	7.5
510.	74.04	74.04	1.96	0.17			2.84	-0.49	97.04	8.03
512.5	74.76	74.76							90.8	9.01
515.	75.49	75.49	2.44	0.25	3.84	0.05	3.08	-0.37	77.21	9.94
517.5	75.9	75.9							81.79	8.87
520.	76.31	76.31	2.14	-0.06	3.79	0.56			91.47	8.95
522.5	76.73	76.73							91.6	7.42
525.	77.14	77.14	2.96	0.53	3.71	0.64			94.07	8.23
530.	77.97	77.97	2.13	0.06	3.5	0.64			96.82	11.31
535.	78.8	78.8	2.1	-0.09	3.54	0.14			93.18	9.75
540.	79.63	79.63	2.34	0.07			3.12	0.26	91.13	10.48
545.			2.57	0.13	3.35	0.59	3.12	0.02	85.39	10.91
550.			2.34	-0.08	3.58	0.63	2.73	-0.27	88.03	9.32
555.			2.32	-0.14			2.52	-0.51	86.41	9.98
560.			2.18	0.01	3.56	0.62			90.87	12.
565.			2.27	0.2	3.28	0.67			92.19	12.69
568.			2.18	0.17	3.41	0.43	2.48	0.11	95.18	13.44

Tab. A

Core 23418										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 µm (w-%)
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
0.	0.	0.	1.11	-0.06	2.71	1.12	0.	0.	131.66	7.78
2.5	0.39	0.36	1.12	-0.13	2.78	1.13			124.89	6.57
5.	0.78	0.73	0.91	-0.11	2.75	1.09			120.89	7.09
7.5	1.18	1.09	1.14	-0.16	2.85	1.21			122.11	7.65
10.	1.57	1.46	1.09	-0.09	2.48	0.78			120.12	7.6
12.5	1.96	1.82	1.05	-0.24					117.82	8.02
15.	2.35	2.18	1.08	-0.18	2.65	1.02			118.03	8.47
17.5	2.74	2.55	1.03	-0.23					106.7	11.26
20.	3.14	2.91	1.01	-0.02	2.51	1.01			106.95	5.39
22.5	3.53	3.28	1.01	-0.28	2.61	1.11			104.27	8.12
25.	3.92	3.64	0.96	-0.35	2.43	1.05			98.9	9.48
27.5	4.31	4.	1.01	-0.16					99.78	9.11
30.	4.7	4.37	0.92	-0.2	2.56	1.14			102.09	6.41
32.5	5.1	4.73	0.95	-0.15	2.43	0.97			103.01	5.42
35.	5.49	5.1	1.02	-0.16	2.56	1.11			103.5	6.92
40.	6.27	5.82	0.83	-0.14	2.5	0.93			102.64	7.08
42.5	6.66	6.19	0.86	-0.32	2.57	1.11			99.58	8.63
45.	7.06	6.55	0.93	-0.56					99.67	6.18
47.5	7.45	6.92	0.93	-0.51	2.38	1.03			98.12	8.12
50.	7.84	7.28	1.18	-0.48	2.62	1.13			98.47	9.29
52.5	8.23	7.64	1.02	-0.63	2.7	0.99			105.	7.94
55.	8.62	8.01	1.	-0.52	2.84	1.05			101.55	9.26
57.5	9.02	8.37	0.94	-0.72	2.65	1.07			105.46	8.93
60.	9.41	8.74	1.28	-0.7	2.67	0.91			110.24	8.43
62.5	9.8	9.1	1.29	-0.68	2.6	0.92			104.58	10.1
65.	10.37	9.38	1.62	-0.79	2.84	0.92			109.13	10.24
67.5	10.93	9.67	1.7	-0.69	3.02	0.89			107.71	12.97
70.	11.5	9.95	1.95	-0.68	3.1	0.84			103.24	14.46
72.5	12.07	10.23	2.33	-0.56	3.45	0.88			102.96	16.23
75.	12.63	10.63	2.22	-0.59	3.39	0.65			101.34	11.59
77.5	13.2	11.2	2.26	-0.49	3.59	0.78			85.55	18.64
80.	13.77	11.77	2.24	-0.41	3.58	0.74			76.72	20.94
82.5	14.33	12.33	2.32	-0.6	3.89	0.34			88.19	21.37
85.	14.9	12.9	2.27	-0.51	3.79	0.68			95.31	12.68
87.5	15.47	13.12			4.	0.49			92.6	11.17
90.	16.03	13.16			3.63	0.63			91.11	10.86
92.5	16.6	13.19	2.66	-0.04					92.15	6.36
95.	17.17	13.67			4.21	0.37			97.31	8.04
97.5	17.73	14.23	2.32	-0.96	4.16	0.36			90.9	9.43
100.	18.3	14.8	3.67	-1.32	4.49	0.4			95.79	10.1
102.5	19.07	15.57							100.52	9.29
105.	19.85	16.35			4.29	0.28			99.1	10.13
107.5	20.62	17.12							102.39	9.62
110.	21.39	17.89			4.24	0.28			100.05	15.64
112.5	22.16	18.66	3.05	-0.52	4.25	0.35			95.	8.12
115.	22.94	19.44	3.09	-0.34	4.21	0.28			84.74	5.16
117.5	23.71	20.21	3.29	-0.27					91.16	5.98
120.	24.11	20.61	3.02	-0.36					79.2	13.81
122.5	24.5	21.	2.8	-0.31					46.26	16.47
125.	25.1	21.6							98.73	13.29
127.5	25.7	22.2	2.87	-0.6	4.	0.35			103.63	6.83
130.	25.81	22.31	2.84	-0.28					97.18	9.76
132.5	25.93	22.43							101.4	9.68
135.	26.04	22.54	2.88	-0.07	4.08	0.38			102.2	9.74
137.5	26.15	22.65	2.69	-0.33	4.16	0.46			95.76	8.46
140.	26.27	22.77	2.87	-0.13					94.75	7.3
142.5	26.38	22.88	2.7	-0.19					96.89	7.17
145.	26.49	22.99	2.79	-0.24					97.97	7.95
147.5	26.61	23.11	2.59	-0.6					95.35	7.55
150.	26.72	23.22	2.7	-0.25					90.85	11.41
152.5	26.83	23.33							86.75	12.29
155.	26.95	23.45	2.75	-0.06	4.14	0.44			75.1	10.9
157.5	27.08	23.58							91.71	11.76
160.	27.22	23.72	2.88	0.1					81.03	12.06
162.5	27.35	23.85			4.23	0.77			76.66	15.26
165.	27.48	23.98	2.71	-0.09	3.99	0.95			79.78	12.15
167.5	27.62	24.12	2.79	0.07	3.88	0.64			79.74	15.46
170.	27.75	24.25	2.84	0.14	4.09	0.85			84.23	16.32
172.5	27.89	24.39	2.87	-0.07	3.94	0.76			79.9	12.26
175.	28.02	24.52	2.85	-0.03					88.72	13.3
177.5	28.16	24.66	2.61	-0.18	3.96	0.35			52.85	13.74
180.	28.29	24.79	2.72	-0.12	4.01	0.94			90.23	9.98
182.5	28.43	24.93	2.78	0.01					85.96	11.52
185.	28.56	25.06	2.65	-0.12	4.11	0.65			83.4	10.33
187.5	28.69	25.19	2.71	-0.13					82.26	10.88
190.	28.83	25.33	2.65	0.18					90.84	8.53
192.5	28.96	25.46			3.95	0.93			89.65	8.97
195.	29.1	25.6			4.04	0.97			95.57	7.73
197.5	29.23	25.73	2.57	-0.07	3.91	0.36			99.42	7.92

Tab. A

Core 23418										
Depth	Age	Age	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
[cm]	Cal. ka	C14-ka	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	content [w-%]	>63 μm (w-%)
200.	29.37	25.87	2.52	-0.05					106.82	13.96
202.5	29.5	26.	2.55	0.06	3.86	0.78			109.46	10.8
205.	29.83	26.33	2.5	-0.03	3.77	0.74			99.68	12.15
207.5	30.15	26.65	2.55	-0.08	3.69	0.48			73.61	17.89
210.	30.48	26.98	2.42	-0.1	3.68	0.38			52.68	18.53
212.5	30.8	27.3	2.89	-0.58	3.69	0.33			44.28	23.08
215.	31.07	27.57							80.89	15.52
217.5	31.33	27.83	2.88	-0.33	4.08	0.56			90.09	10.65
220.	31.64	28.14	2.92	-0.28	4.18	0.63			88.61	12.5
222.5	31.95	28.45	2.73	-0.3	3.93	0.37			90.51	11.57
225.	32.26	28.76	2.68	-0.38	3.87	0.75			87.53	10.56
227.5	32.56	29.06	2.71	-0.46					85.14	8.87
230.	32.83	29.33	2.65	-0.54	4.07	0.74			88.69	8.27
232.5	33.11	29.61	2.51	-0.6	3.91	0.72			87.95	9.16
235.	33.38	29.88	2.44	-0.66					89.31	7.84
237.5	33.65	30.15	2.36	-0.6					84.6	7.6
240.	33.92	30.42	2.52	-0.63					90.14	4.69
242.5	34.19	30.69	2.59	-0.51					93.07	7.34
245.	34.46	30.96	2.43	-0.59	4.44	1.14			93.34	9.04
247.5	34.73	31.23	2.45	-0.45	3.92	0.92			89.38	12.06
250.	35.01	31.51	2.4	-0.41	3.95	0.68			83.19	10.85
252.5	35.28	31.78	2.57	-0.59					80.61	10.26
255.	35.51	32.01	2.55	-0.46	3.99	0.75			88.31	4.79
257.5	35.75	32.25	2.41	-0.46	4.3	0.93			92.94	2.96
260.	35.99	32.49	2.52	-0.54					99.19	3.26
262.5	36.23	32.73							95.5	5.19
265.	36.46	32.96							99.95	10.46
267.5	36.7	33.2	2.39	-0.38	3.8	0.58			100.19	10.19
270.	36.94	33.44	2.35	-0.24	3.97	0.8			98.8	11.46
272.5	37.17	33.67	2.4	-0.36	3.8	0.88			96.22	20.97
275.	37.41	33.91	2.41	-0.29	3.79	0.69			97.75	10.05
277.5	37.66	34.16	2.27	-0.39	3.57	0.8			95.28	11.51
280.	37.91	34.41	2.35	-0.52					87.59	11.13
282.5	38.16	34.66	2.33	-0.51	3.62	0.56			60.33	17.63
285.	38.41	34.91	2.37	-0.53	3.7	0.51			41.67	24.39
287.5	38.72	35.22	2.83	-0.37	3.67	0.57			72.23	0.64
290.	39.04	35.54	2.84	-0.26	4.06	0.96			78.32	7.9
292.5	39.35	35.85	2.2	-0.67	4.04	0.84			84.6	7.18
295.	39.66	36.16	2.72	-0.45	3.95	0.89			84.29	9.26
297.5	39.97	36.47	2.51	-0.24	4.05	0.95			90.04	6.2
300.	40.78	37.28	2.82	-0.58	3.71	0.57			84.14	5.8
302.5	41.59	38.09	2.53	-0.48	3.56	0.41			77.46	7.89
305.	42.13	38.63	2.6	-0.42					89.68	4.47
307.5	42.67	39.17	2.54	-0.4					85.12	4.73
310.	43.21	39.71	2.44	-0.37					86.49	5.31
312.5	43.75	40.32							88.61	6.54
315.	44.29	41.01	2.31	-0.22	4.01	0.81			92.46	6.56
317.5	44.82	41.71	1.89	-0.63	3.93	0.94			92.92	6.91
320.	45.36	42.4	2.39	-0.41	3.76	0.86			95.23	8.03
322.5	45.9	43.1	2.38	-0.39	3.62	0.79			94.11	7.65
325.	46.44	43.79	2.32	-0.33	3.73	0.8			95.07	10.08
327.5	46.98	44.49	2.36	-0.21	3.89	1.1			90.85	16.7
330.	47.51	45.19	2.34	-0.32					93.12	16.06
332.5	48.05	45.88	2.32	-0.43					90.08	15.54
335.	48.59	46.58	2.16	-0.47	4.27	0.19			87.95	14.15
337.5	49.13	47.27	2.33	-0.37	3.85	0.64			94.06	15.16
340.	49.84	48.19	2.2	-0.53					87.29	13.72
342.5	50.56	49.11	2.18	-0.74	3.92	0.3			78.28	18.38
345.	51.15	49.88							82.96	11.79
347.5	51.74	50.64							80.11	10.37
350.	52.33	51.4	2.31	-0.92					86.2	8.52
352.5	52.72	51.91							88.92	8.14
355.	53.11	52.41	2.4	-0.95	4.07	0.29			90.4	7.49
357.5	53.5	52.92	2.39	-1.01	3.77	0.26			90.87	4.56
360.	53.89	53.43	2.18	-0.95	3.86	0.72			83.31	9.19
362.5	54.29	53.93	2.32	-0.93	3.62	0.5			87.83	5.92
365.	54.68	54.44	2.28	-1.19	3.77	0.67			89.36	6.69
367.5	55.07	54.94	2.26	-1.11	3.8	0.79			84.64	6.01
370.	55.46	55.45	2.33	-1.24	3.67	0.47			86.66	5.24
372.5	56.53	56.53	2.15	-0.94					90.53	7.93
375.	57.07	57.07	2.38	-0.61	3.84	0.73			87.69	8.98
377.5	57.62	57.62							77.23	12.25
380.	58.16	58.16	2.23	-1.04	4.02	0.66			69.63	15.44
382.5	58.53	58.53	2.31	-1.01					69.35	20.67
385.	58.89	58.89							93.53	17.33
387.5	59.26	59.26	2.49	-0.5					99.9	14.73
390.	59.83	59.83							94.69	11.43
392.5	60.4	60.4			4.18	0.32			90.	8.13
395.	60.74	60.74	2.59	-0.45					88.29	6.78

**Tab. A**

Core 23418										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	content [w-%]	>63 μm (w-%)
397.5	61.35	61.35							83.01	8.6
400.	61.96	61.96	2.81	-0.51					83.81	9.41
405.	63.08	63.08							81.96	11.54
410.	64.03	64.03							75.36	11.12
415.	65.25	65.25							71.8	7.6
420.	66.53	66.53	2.59	-0.07	3.89	0.68			72.47	6.82
425.	67.81	67.81	2.42	-0.14					76.51	7.32
430.	69.09	69.09	2.2	-0.22					74.95	6.13
435.	70.37	70.37	2.3	0.17					83.39	5.71
440.	71.65	71.65	2.2	0.04					94.88	11.49
445.	72.93	72.93	2.14	0.04					92.51	9.25
450.	74.21	74.21	2.04	-0.56	3.5	0.36			90.43	10.14
455.	75.49	75.49	1.86	-0.26					82.43	10.77
460.	76.52	76.52	2.04	-0.42					89.74	13.59
465.	77.56	77.56	1.77	-0.29					87.72	17.1
470.	78.59	78.59	1.95	-0.4					93.67	12.38
475.	79.63	79.63	1.77	-0.49	3.46	1.13			77.72	10.52
480.	79.76	79.76	2.19	-0.4					81.99	4.74
485.	79.88	79.88	2.08	-0.46	3.56	1.16			86.32	11.29
490.	80.01	80.01	2.63	-0.29					88.31	2.61
495.	80.14	80.14	2.28	-0.36					88.42	3.21
500.	80.27	80.27	2.15	-0.3					87.22	7.25
505.	80.4	80.4	2.01	-0.23	3.56	0.62			92.48	3.38
510.	80.52	80.52	2.25	-0.52					102.2	2.71
515.	80.65	80.65							98.38	0.92
520.	80.78	80.78	2.6	-0.36					101.05	1.94
525.	80.91	80.91	2.52	-0.33					97.52	1.95
530.	81.03	81.03	2.52	-0.41					98.27	2.44
535.	81.16	81.16	2.1	-0.2					99.6	6.37
540.	81.29	81.29	2.2	-0.33	3.34	1.09			96.68	8.12
545.	81.42	81.42	2.28	0.06					96.64	5.62
550.	81.55	81.55	2.27	-0.04	3.16	1.01			99.27	8.34
555.	81.67	81.67	2.35	-0.04					99.52	7.49
560.	81.8	81.8	2.2	-0.32	3.32	1.12			97.31	6.27
565.	81.93	81.93	1.92	-0.6					91.86	11.21
570.	82.06	82.06	2.04	-0.42	3.08	1.05			96.05	8.93
575.	83.22	83.22							89.21	11.03
580.00	84.38	84.38							84.80	11.62
585.00	85.55	85.55	2.05	-0.37	3.51	0.48			77.93	17.46
590.00	86.69	86.69	2.04	-0.41					88.44	5.85
595.00	87.83	87.83	1.90	-0.35					93.47	6.62
600.00	88.97	88.97	2.02	-0.24					97.53	7.30
605.00	89.54	89.54							96.23	8.41
610.00	90.10	90.10	1.82	-0.06	3.64	0.85			98.76	10.83
615.00	90.69	90.69	1.75	-0.18					91.98	9.43
620.00	91.28	91.28	1.98	-0.46					95.05	0.79
625.00	91.87	91.87							96.04	2.74
630.00	92.46	92.46	1.94	-0.99	3.50	1.06			97.89	2.84
635.00	93.06	93.06	2.00	-0.69					106.00	3.56
640.00	93.65	93.65							95.13	4.26
645.00	94.24	94.24							101.54	7.79
650.00	94.83	94.83							99.34	2.74
655.00	95.42	95.42	2.22	-0.97					99.66	3.17
660.00	96.01	96.01							100.59	2.48
665.00	96.60	96.60							101.84	1.55
670.00	97.19	97.19	1.70	-0.93					100.02	2.56
675.00	97.78	97.78	1.55	-1.21					106.87	1.65
680.00	98.38	98.38							103.00	3.30
685.00	98.97	98.97	1.50	-0.85					107.11	4.60
690.00	99.56	99.56	1.56	-0.89					100.90	4.40
695.00	100.15	100.15	1.71	-0.98					104.13	2.32
700.00	100.74	100.74							105.33	3.18
705.00	101.33	101.33							103.53	2.45
710.00	101.92	101.92	1.60	-0.85					106.84	2.81
715.00	102.51	102.51	1.77	-0.75					101.18	2.64
720.00	103.11	103.11	1.97	-0.62					95.75	3.29
725.00	103.70	103.70	1.98	-0.60					97.14	4.34
730.00	104.29	104.29	1.91	-0.62	3.50	0.66			100.12	3.95
735.00	104.88	104.88	1.94	-0.68					101.41	3.93
740.00	105.47	105.47	1.97	-0.51					98.72	4.90
745.00	106.06	106.06	2.01	-0.71					93.55	4.40
750.00	106.65	106.65	1.74	-0.74					88.84	2.05
755.00	107.24	107.24	1.65	-0.87					88.99	2.38
765.00	108.43	108.43	1.76	-0.80	3.58	0.88			97.47	4.52
770.00	109.02	109.02							100.41	4.92
775.00	109.61	109.61							97.64	5.88
780.00	110.20	110.20	1.70	-1.04					86.82	8.87
785.00	110.79	110.79	2.17	-0.60	3.87	0.93			88.70	6.09
790.00	111.31	111.31							96.48	4.64

Tab. A

Core 23418										
Depth [cm]	Age	Age	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction >63 μm (w-%)
	Cal. ka	C14-ka	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	content [w-%]	
795.00	111.83	111.83	1.61	-0.40	3.64	0.57			100.51	9.73
800.00	112.35	112.35	1.59	-0.41	3.42	0.71			110.53	9.81
805.00	112.86	112.86							116.59	7.58
810.00	113.38	113.38	1.92	-0.64					117.18	4.33
815.00	113.90	113.90							119.91	4.16
820.00	114.42	114.42	1.97	-0.26	3.11	0.61			118.68	4.19
825.00	114.94	114.94	1.74	-0.58					117.79	3.17
830.00	115.45	115.45							127.51	2.50
835.00	115.97	115.97	1.87	-0.81	3.23	0.56			128.90	1.56
840.00	116.49	116.49	1.98	-0.14					128.04	2.67
845.00	117.01	117.01	1.64	-0.57					138.06	2.61
850.00	117.53	117.53	1.40	-0.41					123.31	3.38
855.00	118.05	118.05							130.79	2.28
860.00	118.56	118.56	1.04	-0.86					123.87	3.34
865.00	119.08	119.08	1.49	-0.24					130.62	4.63
870.00	119.60	119.60							118.24	6.63
875.00	120.12	120.12							114.04	4.81
880.00	120.64	120.64	0.84	-0.72					108.32	5.84
885.00	121.15	121.15							109.71	4.99
890.00	121.67	121.67	0.64	-0.79					126.19	6.27
895.00	122.19	122.19	0.95	-0.77	2.38	0.83			101.42	6.11
900.00	124.04	124.04	0.43	-0.73	2.60	0.98			98.64	6.75
905.00	125.89	125.89							95.23	13.57
910.00	126.76	126.76							86.45	21.83
915.00	127.62	127.62	1.47	-1.16	3.28	0.21			78.12	20.36
920.00	128.49	128.49			3.44	0.30			56.30	18.37
925.00	129.34	129.34							72.78	13.77
930.00	130.18	130.18							77.30	2.73
935.00	132.14	132.14							76.49	3.93
940.00	134.10	134.10	2.91	-0.94					79.63	3.39
945.00	136.16	136.16	3.08	-0.66					81.99	2.70
950.00	137.11	137.11							90.94	8.12
955.00	138.06	138.06							90.99	4.22
960.00	138.39	138.39							90.87	3.22
965.00	138.71	138.71							79.92	3.44
970.00	139.04	139.04	2.94	-1.11					71.39	4.62
975.00	139.37	139.37							75.90	6.25
980.00	139.70	139.70	2.99	-0.80	4.25	0.21			83.19	11.86
985.00	140.02	140.02	2.63	-1.14					85.44	5.85
990.00	140.35	140.35							85.06	11.04
995.00	140.68	140.68	2.32	-1.07					78.95	19.14
1000.00	141.00	141.00							82.61	7.13
1005.00	141.33	141.33							76.90	5.46
1010.00	144.24	144.24	2.30	-1.05					97.76	12.53
1015.00	147.16	147.16							90.56	6.27
1020.00	150.07	150.07	2.32	-1.56					101.62	4.19
1025.00	152.99	152.99							95.36	12.80
1030.00	155.90	155.90	2.80	-0.83					89.41	5.19
1035.00	157.31	157.31							92.40	5.77
1040.00	158.73	158.73	2.68	-1.01					94.90	8.63
1045.00	160.14	160.14	2.55	-1.16	4.05	0.50			98.75	6.62
1050.00	161.56	161.56	2.32	-0.98	3.65	0.39			86.29	9.53
1055.00	162.97	162.97							79.15	9.30
1060.00	164.38	164.38	2.31	-1.29	3.77	0.25			80.13	6.13
1065.00	165.80	165.80							80.44	7.87
1070.00	167.21	167.21	2.47	-1.18					76.36	10.53
1075.00	168.62	168.62	2.41	-1.15					79.17	11.26
1080.00	170.04	170.04	2.34	-1.18					87.85	10.77
1085.00	171.45	171.45	2.21	-0.81					89.02	9.93
1090.00	173.44	173.44							86.02	5.92
1095.00	175.42	175.42	2.77	-0.94	4.22	0.17			87.58	5.85
1100.00	177.41	177.41							92.16	5.31
1105.00	179.40	179.40	2.96	-0.84					89.98	3.74
1110.00	181.38	181.38							91.83	3.60
1115.00	183.37	183.37	2.39	-1.11					90.35	2.67
1120.00	183.76	183.76							91.24	1.95
1125.00	184.15	184.15	2.97	-0.70					84.07	1.47
1130.00	184.54	184.54							84.81	2.79
1135.00	184.93	184.93	2.37	-0.64					88.92	2.94
1140.00	185.32	185.32							94.84	4.58
1145.00	185.71	185.71	2.07	-0.65					97.47	4.19
1150.00	186.10	186.10							87.53	10.49
1155.00	186.49	186.49	1.66	-0.93	3.26	0.53			76.20	9.13
1160.00	186.88	186.88							71.36	7.63
1165.00	187.28	187.28	1.83	-0.41	3.57	0.80			95.32	6.11
1170.00	187.67	187.67							103.00	7.52
1175.00	188.06	188.06	1.56	-0.52					89.95	4.00
1180.00	188.45	188.45							99.09	1.83
1185.00	188.84	188.84	1.25	-0.72					103.28	3.34

Tab. A

Core 23418										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 µm (w-%)
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
1190.00	189.23	189.23							105.64	4.44
1195.00	189.62	189.62	1.09	-0.84					107.88	4.76
1200.00	190.01	190.01							102.24	8.77
1205.00	190.40	190.40	1.10	-0.97					98.99	7.19
1210.00	190.79	190.79							88.78	7.65
1215.00	191.18	191.18	1.00	-1.16					81.45	7.66
1220.00									86.55	3.06
1225.00			2.21	-0.02	3.20	0.87			96.70	1.79
1230.00									106.51	1.96
1235.00			1.48	-1.02					101.36	2.28

Tab. A

Core 23419										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
			$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	content [w-%]	>63 $\mu\text{m}$ (w-%)
5.	0.	0.					3.38	0.17		
10.	2.65	2.46	1.43	-0.12	2.22	1.2			100.85	35.85
11.5	3.44	3.2	1.18	-0.26	2.39	1.31	3.5	0.11	89.85	35.19
12.7	4.08	3.79	1.42	-0.21	2.38	1.34	3.38	0.2	86.65	34.19
13.5	4.5	4.18	1.27	-0.06	2.38	1.22				
13.9	4.71	4.38	1.2	-0.25	2.42	1.24	3.52	-0.15	87.6	30.44
15.	5.3	4.92	1.	-0.32	2.3	1.23	3.65	0.05	89.33	33.8
16.5	6.09	5.66	1.17	-0.2	2.42	1.27	3.45	-0.08	86.01	33.42
17.7	6.73	6.25	1.36	-0.38	2.22	1.29	3.35	-0.14	82.56	30.59
18.5	7.15	6.64	1.44	-0.21	2.44	1.33				
18.9	7.36	6.84	1.41	-0.3	2.36	1.22	3.34	0.06	81.09	29.54
20.	7.95	7.38			2.39	1.31			83.2	31.18
21.5	8.74	8.12	1.59	-0.2	2.39	1.3	3.68	0.	79.54	28.37
22.7	9.38	8.71	1.22	-0.09	2.59	1.31	3.55	0.09	76.25	40.59
23.5	9.8	9.1			2.23	1.21				
23.9	9.99	9.19	1.62	-0.36	2.56	1.27	3.33	-0.13	75.16	29.15
24.5	10.27	9.34			2.34	1.35				
25.	10.51	9.46	1.53	-0.36			3.6	-0.04	72.72	25.41
26.5	11.22	9.81	1.63	-0.3	3.	1.35	3.54	0.13	75.14	28.97
27.5	11.7	10.05			2.22	1.2				
27.7	11.79	10.1	1.81	-0.63			3.56	0.05	74.31	23.54
28.5	12.17	10.29	1.85	-0.3	2.95	1.25				
28.9	12.36	10.38	2.06	-0.42	2.7	1.19			72.76	27.54
30.	12.88	10.88	2.04	-0.44	3.1	0.37			69.08	40.02
31.5	13.59	11.59	2.04	-0.62	3.8	1.3	3.78	-0.01	72.64	27.19
32.7	14.16	12.16	2.37	-0.41	4.51	1.57	3.51	-0.08	70.38	28.36
33.5	14.54	12.54	2.09	-0.55	4.52	1.56				
33.9	14.73	12.73	1.95	-0.42	3.42	0.53	3.76	-0.08	73.82	23.5
35.	15.25	13.11	2.34	-0.45	3.97	1.05	3.51	0.03	68.59	35.74
36.5	15.96	13.15	2.47	-0.57	4.22	1.32	3.79	-0.04	72.4	33.21
37.7	16.53	13.19	2.46	-0.53	4.5	1.5	3.82	-0.09	81.6	25.44
38.5	16.91	13.41	2.42	-0.64	4.05	1.32				
38.9	17.1	13.6	2.43	-0.5	3.33	0.93	3.65	-0.29	95.68	20.79
40.	18.3	14.8	2.75	-0.41	4.79	1.55			92.43	14.28
41.5	18.71	15.21	2.64	-0.47	4.64	1.56	3.91	-0.33	90.85	20.23
42.7	19.03	15.53	2.58	-0.4	4.59	1.51	4.	-0.17	93.55	16.56
43.9	19.35	15.85	2.4	-0.49	4.5	1.56	3.97	-0.3	91.77	21.26
45.	19.65	16.15	2.53	-0.44	4.66	1.51	3.87	-0.17	83.06	32.93
46.5	20.06	16.56	2.27	-0.44	4.65	1.58	3.85	-0.36	84.52	32.87
47.7	20.38	16.88	2.4	-0.59	4.69	1.61	3.92	-0.42	77.18	37.57
48.9	20.71	17.21			4.35	1.5			90.39	26.22
50.	21.01	17.51	2.46	-0.4	3.35	0.65			87.21	27.99
51.5	21.41	17.91	2.48	-0.45	4.43	1.46	3.93	-0.44	87.88	25.79
52.7	21.74	18.24	3.07	-0.09	4.48	1.54	3.9	-0.31	91.05	27.53
53.9	22.06	18.56			4.5	1.57	3.88	-0.27	96.99	30.01
55.	22.36	18.86	3.25	-0.18			3.98	-0.18	85.94	25.36
56.5	22.76	19.26							90.36	22.71
57.7	23.09	19.59	3.04	-0.18	3.81	1.49	3.91	-0.21	96.34	27.56
58.9	23.41	19.91	3.1	-0.22			3.94	-0.18	90.46	29.63
60.	23.71	20.21	2.87	-0.2					94.13	24.03
61.5	24.5	21.	3.03	-0.07	4.46	1.46			75.39	40.07
62.7	24.91	21.41	3.06	-0.2	4.29	1.56	3.86	-0.28	73.08	38.42
63.9	25.32	21.82	3.08	-0.25	4.28	1.43	3.72	-0.29	77.92	33.73
65.	25.7	22.2	2.93	-0.01	4.45	1.46	3.61	-0.34	92.14	25.32
66.5	27.16	23.66	2.87	-0.02			3.86	-0.32	90.51	25.46
67.7	28.33	24.83	3.	-0.1	4.37	1.72	3.79	-0.27	91.83	30.78
68.9	29.5	26.	2.88	-0.06	3.99	1.35	3.81	-0.38	91.46	29.67
70.	29.66	26.16	2.82	-0.01	4.22	1.55			100.01	20.95
71.5	29.88	26.38	2.98	0.06	4.27	1.49	3.78	-0.39		32.11
72.7	30.05	26.55	3.01	-0.02			3.7	-0.19	95.95	23.41
73.9	30.23	26.73	2.84	-0.12	4.1	1.49	3.58	-0.35	92.53	27.01
75.	30.39	26.89	2.96	-0.17	4.27	1.57	3.76	-0.05	91.13	24.7
76.5	30.6	27.1	2.93	-0.06	4.08	1.33	3.81	-0.19	91.15	24.87
77.7	30.78	27.28	3.02	-0.04	4.51	1.36	3.83	-0.25	99.93	21.47
78.9	30.95	27.45	2.96	-0.42	3.92	1.24	3.66	-0.17	94.29	16.95
80.	31.11	27.61	2.96	-0.24	4.02	1.36			97.9	14.33
81.5	31.33	27.83	2.83	-0.24	4.1	1.49	3.51	-0.19	90.12	16.38
82.7	31.5	28.	2.54	-0.27	3.86	1.35	3.66	-0.16	83.07	16.51
83.9	31.68	28.18	2.48	-0.45	4.3	1.46	3.48	-0.11	79.91	21.39
85.	31.84	28.34	2.84	-0.08	3.89	1.35	3.52	0.05	85.65	17.52
86.5	32.05	28.55	3.	0.06	4.03	1.52	3.59	-0.29	87.83	21.2
87.7	32.23	28.73	2.98	-0.03	3.86	1.46	3.76	-0.27	85.62	17.17
88.9	32.4	28.9	3.06	0.09	4.06	1.52	3.68	-0.15	83.42	16.55
90.	32.56	29.06	2.92	0.14	4.02	1.61			49.13	21.19
91.5	32.92	29.42	2.77	-0.02	3.96	1.49	3.72	-0.01	70.71	16.94
92.7	33.2	29.7	2.7	0.08	4.13	1.55	3.66	-0.21	61.81	22.53
93.9	33.48	29.98	2.79	0.06	3.79	1.44	3.67	-0.02	66.74	20.41
95.	33.74	30.24	2.65	-0.03	3.81	1.39	3.64	-0.26	64.33	24.65
96.5	34.1	30.6			4.11	1.52	3.63	-0.19	62.59	25.9

Tab. A

Core 23419										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water content [w-%]	fraction >63 µm (w-%)
			δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
97.7	34.38	30.88	2.97	0.07			3.51	-0.02	54.98	34.19
98.9	34.66	31.16	2.89	0.08	3.91	1.37	3.53	0.05	62.25	24.4
99.	34.69	31.19	2.87	-0.05	3.82	1.31			68.34	22.3
101.5	35.28	31.78	2.85	0.13	3.93	1.41	3.52	-0.15	58.92	30.79
102.7	35.53	32.03	2.99	0.07	3.81	1.41	3.42	-0.3	64.3	24.35
103.9	35.78	32.28	2.87	0.	3.85	1.41	3.39	0.01	62.59	25.46
105.	36.01	32.51	2.87	0.02	3.9	1.42	3.57	0.14	63.01	27.93
106.5	36.32	32.82	2.84	0.05	3.65	1.27	3.44	0.13	63.68	32.74
107.7	36.57	33.07	2.79	-0.1	3.64	1.14	3.32	0.02	65.61	27.41
108.9	36.82	33.32	2.87	0.02	3.67	1.18	3.46	0.05	65.98	31.24
110.	37.05	33.55	2.82	-0.04	3.81	1.31			65.84	38.37
111.5	37.37	33.87	2.81	-0.01	3.58	1.1	3.32	0.08	71.5	33.21
112.7	37.62	34.12	2.7	-0.11	3.11	0.9	3.38	-0.14	69.41	32.58
113.9	37.87	34.37	2.71	0.02	3.54	1.16	3.41	0.06	68.04	29.92
115.	38.1	34.6	2.7	-0.22	3.52	1.07	3.37	0.11	67.75	30.65
116.5	38.41	34.91	2.8	-0.2	3.76	1.3	3.54	0.16	73.48	24.2
117.7	38.94	35.44	2.77	-0.18	3.91	1.47	3.36	-0.04	71.65	26.75
118.9	39.47	35.97	2.78	-0.31	3.72	1.5	3.57	0.	70.14	27.05
120.	39.96	36.46	2.98	-0.11	3.99	1.58			67.95	25.46
121.5	40.62	37.12	2.84	-0.31	3.91	1.42	3.54	0.03	65.56	29.12
122.7	41.16	37.66	2.72	-0.25	3.93	1.4	3.36	0.09	70.78	28.06
123.9	41.69	38.19	2.71	-0.34	3.95	1.52	3.4	-0.08	65.18	30.61
125.	42.17	38.67	2.76	-0.43	3.87	1.44	3.4	-0.03	62.8	32.29
126.5	42.84	39.34	2.65	-0.27	3.94	1.32	3.25	-0.13	63.99	30.12
127.7	43.37	39.87	2.63	-0.26	3.91	1.41	3.27	-0.22	65.14	31.8
128.9	43.9	40.52	2.56	-0.4	3.96	1.4	3.48	0.01	65.48	32.55
130.	44.39	41.15	2.59	-0.13	3.63	1.4			66.34	34.18
131.5	45.05	42.01	2.57	-0.25	3.5	1.29	3.19	-0.38	60.63	28.43
132.7	45.58	42.69			3.46	1.32	3.2	-0.17	61.16	40.94
133.9	46.12	43.38	2.57	-0.51	3.97	1.46	3.15	-0.25	74.02	36.49
135.	46.6	44.01	2.68	-0.39	3.88	1.37	3.45	-0.09	69.42	32.42
136.5	47.27	44.87	2.75	-0.25	3.84	1.36	3.14	-0.27	60.04	40.75
137.7	47.8	45.55	2.72	-0.22	3.57	1.28	3.44	-0.2	63.43	38.68
138.9	48.33	46.24	2.74	-0.19	3.55	1.28	3.31	-0.2	63.31	41.42
140.	48.82	46.87	2.65	-0.14	3.71	1.29			65.65	38.23
141.5	49.48	47.73	2.7	-0.29	3.71	1.33	3.04	-0.17	63.	35.81
142.7	50.01	48.41	2.68	-0.03	3.25	1.05	3.15	-0.31	62.42	33.81
143.9	50.55	49.1	2.59	-0.28	3.59	1.26			62.99	33.51
145.	51.03	49.73	2.65	-0.38	3.5	1.23	3.23	-0.32	65.11	32.29
146.5	51.7	50.59	2.64	-0.41	3.47	1.	2.96	-0.46	61.88	32.51
147.7	52.23	51.27	2.54	-0.47	3.71	1.3	3.12	-0.24	63.76	33.09
148.9	52.76	51.96	2.65	-0.29	3.63	1.27			64.7	27.92
150.	53.25	52.59	2.41	-0.33	3.38	1.31			64.44	27.54
151.5	53.91	53.45	2.6	-0.42	3.53	1.15	3.16	-0.35	66.07	33.75
152.7	54.44	54.13	2.57	-0.37	3.62	1.33	3.1	-0.49	70.59	37.78
153.9	54.97	54.82	2.42	-0.41	3.64	1.1	2.85	-0.35	71.32	28.02
155.	55.46	55.45	2.52	-0.52	3.39	1.04	3.17	-0.29	70.47	28.85
156.5	56.6	56.6	2.55	-0.41	3.48	1.17	3.13	-0.4	72.23	29.22
157.7	57.51	57.51	2.5	-0.73	3.59	1.1	3.35	-0.53	79.89	23.08
158.9	58.42	58.42	2.65	-0.52	3.83	0.99	3.35	-0.45	81.57	20.25
160.	59.26	59.26	2.54	-0.7	3.93	1.05			76.65	20.76
161.5	60.4	60.4	2.64	-0.6	4.16	1.18	3.57	-0.44	80.05	22.08
162.7	60.57	60.57			4.16	1.31	3.46	-0.32	71.36	19.78
163.9	60.74	60.74	2.59	-0.48	3.92	1.15	3.86	-0.3	71.24	16.55
165.	62.7	62.7	2.55	-0.65	3.64	0.98	3.52	-0.32	104.24	27.15
166.5	64.23	64.23	2.49	-0.22	4.25	1.36	3.75	-0.33	67.69	17.51
167.7	64.99	64.99	2.38	-0.14	4.14	1.53	3.89	-0.3	62.15	14.52
168.9	65.76	65.76	2.35	-0.29	3.85	1.49	3.63	-0.45	64.78	16.85
170.	66.46	66.46	2.64	0.15	4.01	1.31			60.05	26.25
180.	72.86	72.86	2.5	0.2	3.6	1.4			66.31	36.6
190.	79.25	79.25	2.66	0.11	3.38	1.39			64.85	45.13
199.	86.11	86.11	2.32	-0.2	3.8	1.46			67.63	50.07
210.	94.5	94.5	2.25	-0.19	3.54	1.26			70.9	48.58
220.	102.13	102.13	2.13	-0.13	3.54	1.32			79.41	36.02
230.	109.75	109.75	1.99	-0.44	3.17	1.18			77.96	41.39
240.	117.38	117.38	1.48	-0.51					74.88	18.7
250.	125.	125.	1.44	-0.89					74.21	20.12
260.	130.17	130.17	3.07	-0.67					71.43	19.35
270.	135.34	135.34	3.18	-0.65					73.58	16.91
280.	143.36	143.36	3.08	-0.71					98.04	15.1
290.	151.38	151.38	3.	-0.76	4.35	1.1			80.	18.95
300.	159.4	159.4	2.72	-0.75	3.76	0.89			76.68	18.94
310.	167.42	167.42	2.76	-0.57	4.12	1.03			69.84	17.72
320.	175.44	175.44	2.99	-0.46	4.37	1.18			80.22	23.94
330.	183.46	183.46	2.93	-0.3	4.25	1.25			70.76	33.41
340.	191.48	191.48	2.6	-0.84	3.95	1.			72.33	42.31
350.	199.5	199.5	2.52	-0.76	3.43	1.19			74.79	54.02
360.	207.52	207.52	2.16	-0.37	3.22	1.24			63.79	44.08
370.	215.54	215.54	2.06	-0.53	2.87	1.29			72.01	34.29



Tab. A

Core 23419										
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	G. bulloides		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)		Water	fraction
			$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	content [w-%]	>63 $\mu\text{m}$ (w-%)
380.	220.67	220.67	1.99	-0.86	3.74	1.2			82.45	34.42
390.	225.8	225.8	2.23	-0.79					69.12	32.23
400.	230.93	230.93	2.15	-0.72	3.51	1.17			71.44	32.89
410.	236.06	236.06	2.07	-0.39	3.19	1.08			144.13	33.51
420.	241.19	241.19	1.8	-0.64	2.98	1.25			52.09	19.28
430.	244.4	244.4	2.42	-0.9	3.99	1.19			61.71	23.24
440.	247.6	247.6			4.18	1.18			66.49	30.08
450.	252.72	252.72	2.76	-0.68	3.79	1.06			38.65	32.35
460.	257.84	257.84	2.81	-0.76					20.84	24.7
470.	262.95	262.95	2.73	-0.95	3.53	0.72			90.11	25.77
480.	268.07	268.07	2.42	-0.47	3.79	0.6			95.45	16.96
490.	273.19	273.19	2.41	-0.24	4.1	1.17			58.21	29.07
500.	278.31	278.31	2.52	-0.06	3.61	1.34			66.94	33.01
510.	283.42	283.42	2.52	-0.25	3.61	0.92			66.4	32.58
520.	288.54	288.54	2.49	-0.48	3.93	1.13			47.72	43.2
530.	299.16	299.16	2.35	-0.4	3.58	1.26			64.14	29.79
540.	309.77	309.77	1.92	-0.17	3.31	1.3			69.11	42.65
550.	320.39	320.39	1.78	-0.22	3.36	1.38			76.24	35.41
560.	331.	331.	1.71	-0.52	3.26	0.88			72.02	26.88
570.	336.	336.	1.69	-0.9	3.51	0.04			91.21	23.35
580.	341.	341.	2.65	-0.71	4.1	1.1			80.05	30.53
590.	345.5	345.5	2.46	-0.95	3.5	0.96			64.64	17.63
600.	350.	350.	2.45	-0.56	3.7	0.7			80.42	14.64
610.	354.5	354.5	2.66	-0.22	4.02	1.38			67.81	29.76
620.	359.	359.	2.54	0.16	3.76	1.35			71.47	41.6
630.	363.5	363.5	2.58	0.13	3.61	1.27			68.89	20.78
640.	368.	368.	2.08	-0.15	3.61	1.39			68.4	22.66
650.	375.	375.	2.34	0.04	3.43	1.21			77.98	36.25
660.	385.	385.	2.2	0.2	3.45	1.15			76.35	15.97
670.	395.	395.	1.82	0.31					68.74	17.56
680.	405.	405.	1.46	-0.2					66.71	16.52
690.	412.25	412.25	1.92	0.21					68.31	25.36
700.	419.5	419.5	2.06	0.12					76.85	14.21
710.	426.75	426.75	2.19	-0.34					75.61	12.87
720.	434.	434.	2.46	-0.35	3.49	0.18			82.66	13.94
730.			2.42	-1.3	3.57	0.14			100.73	23.62
760.			2.57	-0.67	3.71	0.77			61.85	24.76

Tab. A

Core SO 82-5						
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)	
			$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]
24.00	4.85	4.50			3.34	0.02
26.00	5.11	4.75	1.56	3.91		
32.00	5.90	5.48		3.74		
35.00	6.30	5.85	1.08	2.44		
55.00	8.94	8.30			2.95	0.23
61.50	9.80	9.10	1.15	2.37	3.39	0.24
65.00	10.32	9.36			3.13	0.27
66.50	10.54	9.47	1.08	3.21		
69.00	10.91	9.65	0.95	2.89		
71.50	11.28	9.84	1.05	3.51	3.17	0.16
75.00	11.80	10.10			3.23	0.21
76.50	12.02	10.21	0.80	2.85		
79.00	12.39	10.39	0.86	2.83	3.08	0.24
81.50	12.76	10.76	0.91	2.85	3.18	0.21
84.00	13.13	11.13			3.06	0.28
85.00	13.27	11.27			3.31	0.30
86.50	13.50	11.50	0.93	2.92	3.43	0.31
89.00	13.87	11.87	1.26	3.31	3.45	0.17
91.50	14.23	12.23	0.92	3.01		
95.00	14.75	12.75	0.93	3.44	3.38	0.21
99.00	15.34	13.12	0.85	3.38	3.51	0.09
101.50	15.71	13.14	0.74	3.22	3.26	0.02
107.00	16.53	13.19	0.68	3.14		
109.00	16.82	13.32			3.86	-0.15
111.50	17.19	13.69			3.89	-0.02
115.00	17.71	14.21	0.78	3.52	4.45	0.11
116.50	17.93	14.43	0.68	3.28	4.52	0.00
119.00	18.30	14.80	1.60	4.40		
121.50	18.61	15.11	1.69	4.46	4.32	-0.11
124.00	18.91	15.41	1.76	4.38	4.41	0.01
125.00	19.03	15.53	1.74	4.45	4.43	0.05
129.00	19.52	16.02	1.69	4.45	4.36	-0.14
131.50	19.83	16.33	1.74	4.42	4.28	-0.06
135.00	20.25	16.75			4.47	0.07
139.00	20.74	17.24	1.72	4.32	4.55	-0.04
141.50	21.05	17.55	1.83	4.49		
144.00	21.35	17.85			4.14	0.00
145.00	21.48	17.98			4.15	-0.10
149.00	21.96	18.46	1.76	4.40		
154.00	22.58	19.08	1.74	4.38	3.87	-0.20
155.00	22.70	19.20			3.96	-0.15
159.00	23.19	19.69	1.75	4.24	4.19	-0.10
161.50	23.49	19.99			4.41	-0.03
162.00	23.55	20.05			4.42	0.14
164.00	23.80	20.30			4.26	0.05
174.00	25.02	21.52	1.12	3.43	4.12	0.02
175.00	25.14	21.64			4.18	0.01
176.50	25.32	21.82	1.14	3.82	4.08	-0.11
179.00	25.63	22.13	1.28	3.92	4.09	-0.03
181.50	25.94	22.44	1.28	3.79	4.04	-0.08
184.00	26.24	22.74	1.41	3.84		
185.00	26.36	22.86	1.26	3.90	4.18	-0.05
186.50	26.55	23.05	1.28	3.77	4.39	0.00
189.00	26.85	23.35	1.47	4.05		
191.50	27.16	23.66	1.40	4.11		
194.00	27.46	23.96	1.67	4.21	4.37	0.10
195.00	27.58	24.08	1.74	4.39		
196.50	27.77	24.27			4.16	-0.01
199.00	28.07	24.57			4.14	0.05
201.50	28.38	24.88			4.30	0.06
204.00	28.68	25.18	1.54	3.75	4.31	0.07
205.00	28.81	25.31	1.44	4.14		
207.70	29.14	25.64	1.24	3.69		
209.00	29.29	25.79	1.32	3.77	4.19	0.13
211.50	29.60	26.10	1.30	3.52		
214.00	29.78	26.28	1.35	3.64	3.97	0.08
215.00	29.85	26.35	1.15	3.74		
216.50	29.95	26.45	1.36	3.71		
219.00	30.13	26.63	1.20	3.68		
221.50	30.31	26.81	1.41	3.72		
224.00	30.49	26.99	1.23	3.71	4.10	0.06
226.50	30.66	27.16	1.38	3.64		
229.00	30.84	27.34	1.50	3.90		
234.00	31.19	27.69	1.41	3.72	3.90	0.19
235.00	31.27	27.77	0.85	3.58		
236.50	31.37	27.87	0.70	3.21		
239.00	31.55	28.05	1.38	3.86		
241.00	31.69	28.19	1.57	4.15	3.71	-0.04
244.00	31.90	28.40	1.32	3.67	2.51	0.36

Tab. A

Core SO 82-5						
Depth [cm]	Age		C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)	
	Cal. ka	C14-ka	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]
246.50	32.08	28.58	1.50	3.77		
249.00	32.26	28.76	1.46	3.88		
251.00	32.40	28.90	1.54	4.02		
254.00	32.61	29.11	1.50	4.14	3.75	0.01
256.50	32.79	29.29	1.44	4.02		
259.00	32.97	29.47	1.60	4.06		
261.50	33.14	29.64	1.57	3.98		
264.00	33.32	29.82	1.72	4.01	4.19	0.27
266.50	33.50	30.00	1.53	3.88		
269.00	33.68	30.18	1.69	4.03		
274.00	34.03	30.53			4.06	0.24
276.50	34.21	30.71	1.52	3.99		
279.00	34.38	30.88			3.88	0.30
281.50	34.56	31.06	1.27	3.43		
284.00	34.74	31.24	1.38	3.76	3.61	0.29
286.50	34.92	31.42	1.46	3.88		
288.00	35.02	31.52	1.51	3.81	3.83	0.12
289.00	35.09	31.59			3.88	0.40
291.50	35.27	31.77	1.36	3.72		
292.00	35.31	31.81	1.41	3.69		
294.00	35.45	31.95	1.43	3.83		
296.50	35.63	32.13	1.46	3.81		
299.00	35.80	32.30	1.62	4.05		
301.50	35.98	32.48	1.37	3.69		
302.00	36.02	32.52			3.59	0.34
303.00	36.09	32.59	1.49	3.78		
306.50	36.33	32.83	1.30	3.56		
309.00	36.51	33.01			3.90	0.17
311.50	36.69	33.19	1.61	3.89		
312.00	36.72	33.22			4.02	0.28
314.00	36.87	33.37	1.48	3.59		
315.00	36.94	33.44			3.90	0.38
319.00	37.22	33.72			4.50	0.68
321.00	37.36	33.86			4.26	0.56
326.00	37.72	34.22			3.58	0.34
326.50	37.75	34.25	1.43	3.72		
327.00	37.79	34.29	1.41	3.73		
329.00	37.93	34.43			3.51	0.25
330.00	38.00	34.50			3.57	0.21
331.00	38.07	34.57	1.33	3.74		
331.50	38.11	34.61	1.33	3.57		
334.00	38.28	34.78	1.26	3.60		
335.00	38.35	34.85			4.09	0.34
336.00	38.43	34.93	1.37	3.71		
339.00	38.64	35.14	0.64	3.52		
342.00	38.85	35.35			3.93	0.39
346.50	39.17	35.67	1.19	3.98		
348.00	39.28	35.78			3.77	0.41
349.00	39.35	35.85			3.75	0.31
350.00	39.42	35.92	1.26	3.79		
354.00	39.70	36.20	1.27	3.64		
356.50	39.88	36.38	1.35	3.72		
359.00	40.06	36.56	1.28	3.65	3.38	0.17
361.50	40.23	36.73	1.23	3.12		
366.50	40.59	37.09	1.30	3.65		
368.00	40.69	37.19			3.78	0.38
369.00	40.76	37.26	1.22	3.32	3.30	0.12
371.50	40.94	37.44	1.65	4.06		
374.00	41.12	37.62			3.84	0.28
376.50	41.30	37.80	1.42	4.01		
377.00	41.33	37.83			3.96	0.52
379.00	41.47	37.97	1.38	3.71	3.85	0.40
381.50	41.65	38.15	1.42	3.75		
384.00	41.83	38.33			3.55	0.33
386.50	42.00	38.50	1.42	3.74		
387.00	42.04	38.54			3.74	0.34
391.50	42.36	38.86	1.30	3.68		
393.80	42.52	39.02			3.80	0.50
394.00	42.54	39.04			3.83	0.30
396.50	42.71	39.21	1.52	3.75		
399.00	42.89	39.39			3.72	0.43
400.00	42.96	39.46	1.56	3.76	3.37	0.35
401.50	43.07	39.57	1.49	3.59		
406.50	43.42	39.92	1.57	3.88		
410.00	43.67	40.22	1.28	3.97	3.76	0.49
411.50	43.78	40.36	1.05	3.32		
414.00	43.95	40.59			3.49	0.21
417.00	44.17	40.86	1.27	3.28	3.58	0.31
419.00	44.31	41.04	1.46	3.59		

Tab. A

Core SO 82-5						
Depth [cm]	Age Cal. ka	Age C14-ka	C. wuellerstorfi		N. pachyderma (s.)	
			$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]
421.50	44.49	41.27	1.24	3.38		
424.00	44.66	41.50	1.37	3.46		
425.00	44.73	41.59	1.30	3.54		
426.50	44.84	41.73	1.46	3.56		
429.00	45.02	41.96	1.32	3.67		
431.50	45.19	42.19	1.46	4.01		
434.00	45.37	42.42	1.33	4.08		
435.00	45.44	42.51	1.05	3.48		
439.00	45.73	42.88	1.18	4.01		
446.50	46.26	43.56	1.64	3.72		
449.00	46.43	43.79	1.66	3.72		
482.50	48.81	46.86	1.50	3.68		
484.00	48.92	47.00	1.46	3.61		
486.50	49.09	47.22	1.65	3.60		
491.50	49.45	47.68	1.41	3.45		
494.00	49.62	47.91	1.39	3.33		
496.50	49.80	48.14	1.50	3.41		
499.00	49.98	48.37	1.40	3.46		
501.50	50.16	48.60	1.14	3.30		
509.00	50.69	49.28	1.21	3.19		
511.00	50.83	49.47	1.27	3.52		
511.50	50.87	49.51	1.37	3.36		
514.00	51.04	49.74	1.36	3.38		
517.00	51.26	50.02	1.33	3.45		
519.00	51.40	50.20	1.25	3.30		
524.00	52.30	51.37	1.44	3.51		
527.00	52.84	52.07	1.29	3.53		
529.00	53.20	52.53	1.24	3.46		
534.00	54.11	53.70	1.31	3.64		
535.00	54.29	53.93	1.21	3.55		
536.50	54.56	54.28	1.36	3.48		
541.50	55.46	55.45	1.25	3.40		
544.00	55.81	55.81	1.13	3.54		
546.50	56.17	56.17	1.17	3.57		
549.00	56.52	56.52	1.16	3.75		
551.50	56.87	56.87	1.15	3.61		
554.00	57.23	57.23	1.16	3.75		
556.50	57.58	57.58	1.07	3.43		
559.00	57.93	57.93	1.05	3.60		
561.50	58.28	58.28	1.10	3.57		
565.00	58.78	58.78	0.94	3.45		
566.50	58.99	58.99	1.37	3.96		
569.00	59.34	59.34	1.22	3.70		
571.50	59.69	59.69	1.45	3.74		
575.00	60.19	60.19	1.63	4.12		
576.50	60.40	60.40	1.66	4.18		
579.00	60.75	60.75	1.42	3.58		
581.50	61.10	61.10	1.70	4.17		
585.00	61.59	61.59	1.36	3.82		
586.50	61.80	61.80	1.29	3.84		
589.00	62.15	62.15	1.32	3.69		
591.50	62.51	62.51	1.37	3.73		
596.50	63.21	63.21	1.41	3.80		
599.00	63.56	63.56	1.39	3.82		
601.50	63.91	63.91	1.26	3.73		
605.00	64.40	64.40	1.36	3.65		

Tab. B

Isotope values of the Vertical Space-Time-Transect of <i>C. wuellerstorfi</i>																						
Age [kalka]	Core V23-198		Core BOFS 17K		Core V23-193		Core 23419		Core 17048		Core V28-73		Core 23414		Core 23415		Core 23418		Core 23416		Core 23417	
	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]
0.25	2.91	1.11	3.04	1.12	2.92	1.28			3.11	1.34					3.34	1.15	3.39	1.12	3.28	0.78		
0.75			3.08	1.16	2.98	1.43									3.04	0.97	3.39	1.09				
1.25	2.79	1.15	3.07	1.21	2.91	1.3			3.19	1.34					3.15	1.07	3.49	1.21	3.36	0.87		
1.75	2.88	1.06	3.03	1.09											3.46	1.21	3.12	0.78				
2.25			3.09	1.15											3.2	1.08	3.29	1.02				
2.75	2.91	1.04	3.07	1.22			2.84	1.2	3.09	1.31					3.24	0.94			3.43	0.5		
3.25			3.01	1.08	2.87	1.27	3	1.31	3.06	1.26			3.6	1.13	3.31	1.23	3.16	1.01				
3.75			3.05	1.17					3.11	1.24					3.3	1.13	3.18	1.08				
4.25	2.87	1.09	3.12	1.12			2.99	1.34	3.13	1.26			3.18	1.21	3.39	1.13			3.29	1.1		
4.75	2.9	1.1	3.12	1.24	2.99	1.2	3	1.23	3.27	1.19			3.27	1.19	3.15	1.16	3.24	1.14			3.32	0.77
5.25			3.15	1.08			2.9	1.23	3.38	1.26			3.55	1.07	3.21	1.04	3.17	1.04	3.27	0.93	2.92	0.68
5.75	2.88	1.	3.06	1.28					2.99	1.21					3.33	1.03						
6.25			3.03	1.08	2.94	1.35	2.99	1.27					3.44	1.2	3.32	1.07	3.07	0.93			3.24	0.82
6.75	2.88	1.1	3.06	1.07			2.77	1.29	3.09	1.29	3.2	1.33	3.14	1.14	3.16	1.03	3.09	1.11	3.32	0.79	3.2	0.86
7.25			3.07	1.18			2.93	1.28					3.5	0.9	3.28	1.07	2.86	1.03			3.23	0.81
7.75	2.74	0.93	3.05	1.23	2.77	0.85	2.89	1.31	3.17	1.03			3.48	0.84			3.1	1.13	3.38	0.77	3.23	0.97
8.25			2.92	1.22					3.23	1.29			3.23	1.29	3.23	0.91	3.17	0.99	3.34	0.94	3.25	0.84
8.75			2.91	1.14			2.79	1.3	2.92	1.25	3.35	1.07	3.21	1.17	3.13	0.93	3.28	1.05			3.15	0.72
9.25			2.84	1.2			2.94	1.31	3.07	1.29			3.1	1.08	3.21	0.89	3.04	0.99	3.25	1.01	2.98	0.99
9.75	2.79	0.98	2.78	1.21	2.81	1.28	2.71	1.24	2.82	1.04	3.09	1.12	3.43	1.	3.14	0.94	2.95	0.92	3.15	0.8	3	0.68
10.25							2.55	1.35					3.72	0.85	3.12	0.74	3.09	0.92			3.01	0.96
10.75									2.77	1.18					3.07	0.87	3.2	0.89			3.05	0.83
11.25							3.07	1.35	2.36	1.24	3.11	1.24	3.55	0.82	3.2	0.81	3.22	0.84			3.12	0.45
11.75							2.24	1.2	2.99	1.19					3.08	0.69					2.87	0.63
12.25			3.1	1.17	3.42	1.31	2.82	1.22	3.23	1.	3.19	1.11			3.48	0.82	3.53	0.88	3.61	0.53	2.73	0.4
12.75							3.03	0.37	2.8	0.99			3.65	0.84	3.25	0.95	3.42	0.65			3.31	0.53
13.25									3.07	0.93							3.58	0.78	3.52	0.31	3.67	0.54
13.75							3.62	1.3	2.84	1.05					3.34	0.66	3.55	0.74			3.35	0.39
14.25							4.18	1.57	2.62	0.93	2.64	1.06	3.15	0.96	2.97	0.64	3.63	0.34	3.2	0.82		
14.75							3.59	1.05	2.75	0.91					3.3	0.85	3.51	0.68				
15.25	3.35	1.49			2.74	1.33	3.56	1.05	2.49	1.08					3.12	0.61	3.7	0.49	3.45	0.16		
15.75							3.77	1.32			3.3	0.99	2.91	0.85	3.03	0.68	3.37	0.05	3.28	0.25	3.53	0.07
16.25																	3.31	0.63				
16.75							3.79	1.41							3.15	0.55						
17.25			1.97	1.13			2.82	0.93	2.5	0.36			3.24	0.69	3.24	0.16	3.85	0.37	3.51	0.08	3.88	0.12
17.75			3.71	1.62					3.69	0.84					3.65	0.58	3.77	0.36				
18.25	3.62	1.7	3.43	1.6	3.21	1.38	4.23	1.55	4.03	1.26	3.83	1.26	4.13	0.98	4.05	0.61	4.08	0.4			4.1	0.12
18.75			3.7	1.86			4.07	1.56					4.	0.88	3.61	0.64			3.94	0.38		
19.25			3.79	1.77			3.96	1.54	2.98	1.2					3.82	0.65						
19.75			3.3	1.4			4.06	1.51	3.89	1.25			3.87	0.91			3.81	0.28				
20.25	3.02	1.59	3.11	1.36	3.23	1.62	4.05	1.6			3.61	1.2	3.79	0.86	3.8	0.32					3.81	0.52
20.75							3.71	1.5	3.12	1.03					3.77	0.51						
21.25	3.36	1.64	3.21	1.43			3.79	1.46	3.88	1.11			3.73	0.9	3.67	0.44	3.65	0.28			4.01	0.04
21.75					3.27	1.5	3.91	1.54			3.28	0.99	3.04	1.03	3.89	0.55					3.99	0.01
22.25			3.51	1.59			4.09	1.57	3.41	1.18			4.15	0.89	3.82	0.71	3.81	0.35			4.31	0.32
22.75									2.74	0.81	3.87	1.18			4.03	0.63	3.87	0.28			4.26	0.21
23.25							3.45	1.49													4.2	0.14
23.75			3.48	1.44					3.48	1.25			4.2	0.75								
24.25							4.1	1.46	4.08	1.26												
24.75			3.52	1.45			3.95	1.56					4.07	0.7								
25.25							3.96	1.43	3.73	1.12			4.12	0.82								
25.75			3.34	1.35			4.17	1.46	4.01	1.09			3.85	1.04	3.63	0.36	3.74	0.35	4.1	0.34	4.2	0.24
26.25															3.94	0.65	3.92	0.42	4.09	0.31	4.29	0.33
26.75									3.84	1.12					3.92	0.87	4.01	0.44			4.29	0.08
27.25									3.75	1.17					3.96	0.84	4.03	0.86			4.42	0.25
27.75													4.39	0.9	4.1	0.96	3.96	0.75				
28.25							4.47	1.72	4.06	1.31					4.22	1.01	4.06	0.65			4.09	0.
28.75									4.47	1.18					4.1	0.78	4.15	0.79	4.3	0.4		

Tab. B

Isotope values of the Vertical Space-Time-Transsect of C. wuellerstorfi																								
Age [kalka]	Core V23-198		Core BOFS 17K		Core V23-193		Core 23419		Core 17048		Core V28-73		Core 23414		Core 23415		Core 23418		Core 23416		Core 23417			
	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]		
29.25							4.07	1.35		3.73	0.91			4.21	1.1	4.02	0.88	4.03	0.7	3.97	0.38			
29.75							4.32	1.52								3.88	0.62	3.84	0.74	3.98	0.3			
30.25							4.24	1.53						4.21	0.85	3.87	0.62	3.74	0.43					
30.75							4.22	1.31		4.05	0.81			4.14	0.62	3.8	0.71	3.74	0.33					
31.25							4.1	1.43						4.27	1.01	3.89	0.85	4.12	0.56					
31.75							4.05	1.39		3.61	0.97			4.25	1.01			4.08	0.5	4.25	0.51	4.17	0.03	
32.25							3.99	1.5						3.99	0.87			3.87	0.75			4.09	0.11	
32.75							3.98	1.55		3.95	1.22			4.15	1.15	3.65	0.61	4.06	0.74	4.09	0.62	4.25	0.1	
33.25							3.93	1.5						4.06	1.	4.04	0.48	3.89	0.72			4.26	0.2	
33.75							3.78	1.39		3.56	1.24			4.13	1.12	3.92	0.9					3.8	0.21	
34.25							4.09	1.52						4.07	1.08	4.02	0.85	4.43	1.14			4.09	0.3	
34.75							3.86	1.34		3.94	1.15			3.94	1.02			3.91	0.92	4.	0.53	4.19	0.04	
35.25							3.94	1.41						4.12	1.02	3.97	0.75	3.95	0.68			4.23	0.45	
35.75							3.83	1.41						4.15	0.88	3.92	0.94	4.14	0.84	3.77	0.39	3.92	0.21	
36.25							3.75	1.35		3.38	1.02					3.82	0.97					3.99	0.38	
36.75							3.62	1.16						3.89	0.94	3.75	0.84	3.86	0.69			3.99	0.56	
37.25							3.69	1.21		3.9	1.13			3.95	0.97	3.72	0.77	3.79	0.79	3.72	0.56	3.99	0.57	
37.75							3.35	1.03						3.93	0.91	3.65	0.49	3.6	0.8			3.99	0.5	
38.25							3.71	1.19						3.92	0.73	3.69	0.73	3.73	0.54			3.63	0.78	
38.75							4.03	1.47						3.46	0.48			3.78	0.57					
39.25							3.88	1.5						3.84	0.75			4.19	0.9					
39.75							4.12	1.58						4.29	1.19			4.14	0.92			4.03	0.67	
40.25														4.12	1.08	3.97	0.62					3.99	0.2	
40.75							3.99	1.42						4.13	1.11	4.27	0.9	3.78	0.57					
41.25							3.98	1.4						4.12	1.08	3.84	0.88							
41.75							3.97	1.52						3.99	1.16			3.58	0.41	4.05	0.57	3.92	0.43	
42.25							3.86	1.44						3.97	1.12									
42.75							3.91	1.32						3.81	1.11					3.87	0.55	3.97	0.26	
43.25							3.88	1.41						3.88	0.96							3.78	0.39	
43.75							3.95	1.4						3.91	1.02					4.06	0.44			
44.25							3.64	1.4						3.54	1.05	3.89	1.02	4.01	0.81			3.49	0.4	
44.75														3.94	1.05	3.88	0.95	3.97	0.94			4.07	0.45	
45.25														4.01	1.23			3.8	0.86			4.12	0.51	
45.75							3.56	1.29						4.16	1.14			3.63	0.79					
46.25							3.49	1.32						4.05	1.19	3.84	1.06	3.73	0.8			3.79	0.59	
46.75							3.98	1.46						4.04	1.31			3.9	1.1	3.86	0.55	3.89	0.79	
47.25							3.88	1.37						3.94	1.06	3.85	0.85					3.85	0.4	
47.75							3.87	1.36						3.9	1.25									
47.75							3.61	1.28						3.97	1.04									
48.25							3.6	1.28						3.96	1.06			4.33	0.19	3.88	0.72	3.81	0.33	
48.75							3.78	1.29						3.9	1.25							3.76	0.69	
49.25							3.77	1.33						3.97	1.04			4.33	0.19	3.88	0.72	3.81	0.33	
49.75														3.96	1.06							3.76	0.69	
50.25														4.	1.05	3.75	0.99	3.92	0.64	3.86	0.41	3.83	0.87	
50.75																					3.93	0.38		
51.25																					3.91	0.43		
51.75							3.37	1.05						4.01	0.99	3.42	0.91	4.13	0.3			4.02	0.42	
52.25							3.8	1.26														4.04	0.36	
52.75							3.78	1.23														4.29	0.07	
53.25							3.75	1.														4.11	0.53	
53.75							3.95	1.3						4.21	1.04	3.87	0.83			4.16	0.65	3.96	0.45	
54.25							3.82	1.27																
54.75							3.52	1.31						4.03	1.02	3.9	0.82	4.23	0.29	4.14	0.35			
55.25							3.63	1.15								3.7	0.78	3.92	0.49			3.96	0.44	
55.75							3.7	1.33						3.83	0.77			3.7	0.5	4.	0.78			
56.25							3.71	1.1								3.75	0.25	3.85	0.67			3.84	0.28	
56.75							3.46	1.04						3.73	0.75	3.77	0.66	3.8	0.63			3.73	0.35	
57.25																								
57.75																					4.	0.31		
58.25																								
58.75																								
59.25																								
59.75																								
60.25																								
60.75																								
61.25																								
61.75																								
62.25																								
62.75																								
63.25																								
63.75																								
64.25																								
64.75																								
65.25																								
65.75																								
66.25																								
66.75																								
67.25																								
67.75																								
68.25																								
68.75																								
69.25																								
69.75																								
70.25																								
70.75																								
71.25																								
71.75																								
72.25																								
72.75																								
73.25																								
73.75																								
74.25																								

Tab. B

Isotope values of the Vertical Space-Time-Transect of <i>C. wuellerstorfi</i>																						
Age	Core V23-198		Core BOFS 17K		Core V23-193		Core 23419		Core 17048		Core V28-73		Core 23414		Core 23415		Core 23418		Core 23416		Core 23417	
[kalka]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]	δ18 O [‰]	δ13 C [‰]
58.25							4.14	0.99									4.27	0.66				
58.75																						
59.25							4.33	1.05														
59.75													4.06	0.6							4.47	0.
60.25							4.41	1.18					4.22	0.82	4.47	0.49	4.43	0.32			4.78	-0.07
60.75							4.26	1.23														
61.25																						
61.75																						
62.25															4.22	0.45						
62.75							3.65	0.98													4.2	-0.38
63.25													4.05	0.87								
63.75																						
64.25							4.19	1.36														
64.75							4.07	1.53					3.96	1.2								
65.25																						
65.75							3.81	1.49														
66.25							4.	1.31					3.75	0.91								
66.75																	3.88	0.68			3.82	0.09
67.25																						
67.75													3.88	1.05								
68.25																						
68.75																						
69.25													4.01	1.06	4.25	0.42			4.15	0.36		
69.75																					4.11	0.33
70.25																						
70.75													4.07	1.17								
71.25																					4.03	0.45
71.75													3.84	1.15	3.95	0.36						
72.25																						
72.75							3.84	1.4											4.1	0.63		
73.25													3.93	1.19							4.12	0.41
73.75																						
74.25																	3.69	0.36				
74.75													3.83	1.28								
75.25																					4.05	0.05
75.75																						
76.25													3.92	1.25							4.08	0.56
76.75															3.86	0.73						
77.25																			4.02	0.72	4.1	0.64
77.75													4.01	1.24							3.97	0.64
78.25																			4.2	0.79		
78.75																					4.08	0.14
79.25							3.94	1.39					4.23	1.34	4.17	0.91			4.02	0.67		
79.75															4.01	1.01	4.07	1.14	4.17	0.82		